Deutscher Bundestag **Drucksache 14/9995**
14. Wahlperiode 08.10.2002

Unterrichtung
durch die Bundesregierung

Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2001

Inhaltsverzeichnis

Zugeleitet mit Schreiben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit vom 30. September 2002 gemäß § 5 Abs. 2 des Strahlenschutzvorsorgegesetzes vom 19. Dezember 1986 (BGBl. I S. 2610).

Auftrag und Zusammenfassung

1. Auftrag

Das Strahlenschutzvorsorgegesetz vom 19. Dezember 1986 (BGBl. I S. 2610), zuletzt geändert durch Artikel 8 des Gesetzes vom 24. Juni 1994 (BGBl. I S. 1416), sieht die jährliche Berichterstattung durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit an den Deutschen Bundestag und den Bundesrat über die Entwicklung der Radioaktivität in der Umwelt vor. Der vorliegende Bericht enthält die Daten aus dem Jahr 2001. Er umfasst die wichtigsten Informationen und Änderungen im Bereich der Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung gegenüber den Vorjahren.

Zum 1. August 2001 trat die Novelle der Strahlenschutzverordnung in Kraft (BGBl. I S. 1714). Dies hat unmittelbare Auswirkungen u. a. auf die Dosisberechnungen bei der natürlichen Strahlenexposition durch Radonfolgeprodukte, bei der Exposition durch kerntechnische Anlagen sowie bei der beruflichen Exposition des Flugpersonals durch Höhenstrahlung.

Dieser Bericht enthält zum ersten Mal Informationen über den Bereich „Nichtionisierende Strahlen” (NIR). Das Thema ist in den letzten Jahren zunehmend in das Interesse der Öffentlichkeit gerückt. Mit der Ergänzung des Berichts um den Bereich NIR soll dieser Entwicklung Rechnung getragen werden.

Ausführlicheres Datenmaterial wird jeweils in den Jahresberichten des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ wiedergegeben.

2. Zusammenfassung

2.1 Ionisierende Strahlung

Der Berichtsteil über ionisierende Strahlung behandelt

- die natürliche Strahlenexposition,
- die zivilisatorisch veränderte natürliche Strahlenexposition,
- die zivilisatorische Strahlenexposition und
- die Strahlenexposition durch den Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl.

Abbildung 1 gibt einen Überblick über die mittlere effektive Jahresdosis in diesen Bereichen.

Die natürliche Strahlenexposition setzt sich aus der kosmischen und der terrestrischen Komponente sowie aus der Exposition durch die Aufnahme (Ingestion und Inhalation) natürlich radioaktiver Stoffe in den Körper zusammen.

Veränderungen der Umwelt des Menschen durch technische Entwicklungen, die eine unbeabsichtigte Anreicherung natürlich radioaktiver Stoffe zur Folge haben, führen zu einer zivilisatorisch bedingten Erhöhung der natürlichen Strahlenexposition. Insbesondere Radon in Gebäuden und natürlich radioaktive Stoffe aus Bergbau- und Verarbeitungsprozessen können zur Erhöhung beitragen.

Die zivilisatorische Strahlenexposition der Bevölkerung resultiert aus Beiträgen kerntechnischer Anlagen, aus der Anwendung ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe in Medizin, Forschung, Technik und Haushalt sowie aus dem Fall-out von Kernwaffenversuchen in der Atmosphäre. Der Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl, der am 26. April 1986 stattfand, verursachte auch im Jahr 2001 noch eine geringfügige Erhöhung der zivilisatorischen Strahlenexposition. Dies wird in einem gesonderten Kapitel behandelt.

Die Daten der beruflichen Strahlenexposition (siehe Abbildung 2) werden entsprechend ihrer Ursache in den jeweiligen Kapiteln (II oder III) aufgeführt.

Einzelergebnisse für das gesamte Bundesgebiet im Jahr 2001 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Natürliche Strahlenexposition

Die effektive Dosis der natürlichen Strahlenexposition betrug im Mittel ca. 1,2 mSv pro Jahr. Neben der direkten kosmischen Komponente von 0,3 mSv und der direkten terrestrischen Komponente von 0,4 mSv trägt die Aufnahme natürlich radioaktiver Stoffe mit der Nahrung 0,3 mSv zur Strahlenexposition bei. Auch ein Teil der Exposition durch die radioaktiven Edelgase Radon (Rn-222) und Thoron (Rn-220) einschließlich ihrer kurzlebigen Folgeprodukte von etwa 0,2 mSv ist unvermeidbar und deshalb nicht zivilisatorisch bedingt.

Zivilisatorisch veränderte natürliche Strahlenexposition

Radon- und Thoronzerfallsprodukte liefern über Inhalation den Hauptbeitrag zum zivilisatorisch erhöhten Teil der natürlichen Strahlenexposition mit einer durchschnittlichen effektiven Dosis von etwa 0,9 mSv pro Jahr.

Die wesentlichen beruflichen Bereiche, in denen die natürliche Strahlenexposition zivilisatorisch erhöht ist, sind die Exposition des Flugpersonals durch Höhenstrahlung und die Exposition durch Radonfolgeprodukte an Arbeitsplätzen.

Zivilisatorische Strahlenexposition

Die effektive Dosis der zivilisatorischen Strahlenexposition lag bei ca. 2 mSv pro Einwohner und Jahr. Der größte Beitrag wurde durch die Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in der Medizin, insbesondere durch die Röntgendiagnostik, verursacht. Diese Strahlenexposition betrifft vor allem ältere Menschen, bei denen das Strahlenrisiko geringer und die medizinische Untersuchung von großer Bedeutung für die Verbesserung des Gesundheitszustandes ist.

Der Beitrag der Strahlenexposition durch Atomkraftwerke und sonstige kerntechnische Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland zur mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung blieb auch im Jahr 2001 deutlich unter 1% der

Abbildung 1

Mittlere effektive Jahresdosis durch ionisierende Strahlung im Jahr 2001
(Gemittelt über die Bevölkerung Deutschlands)

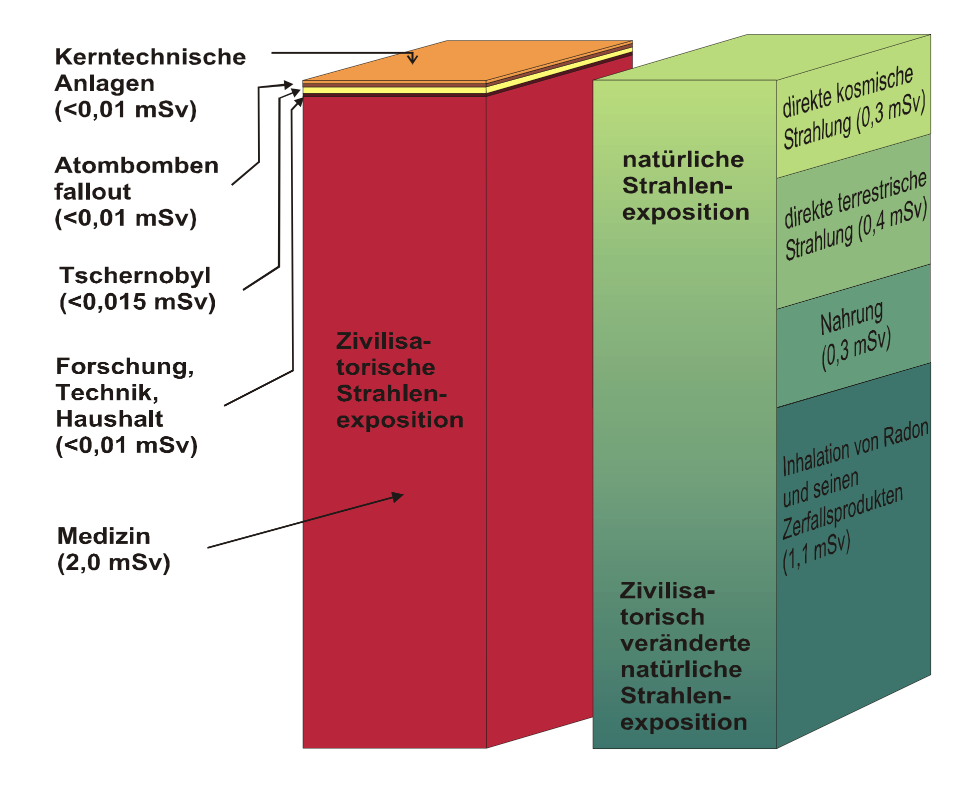
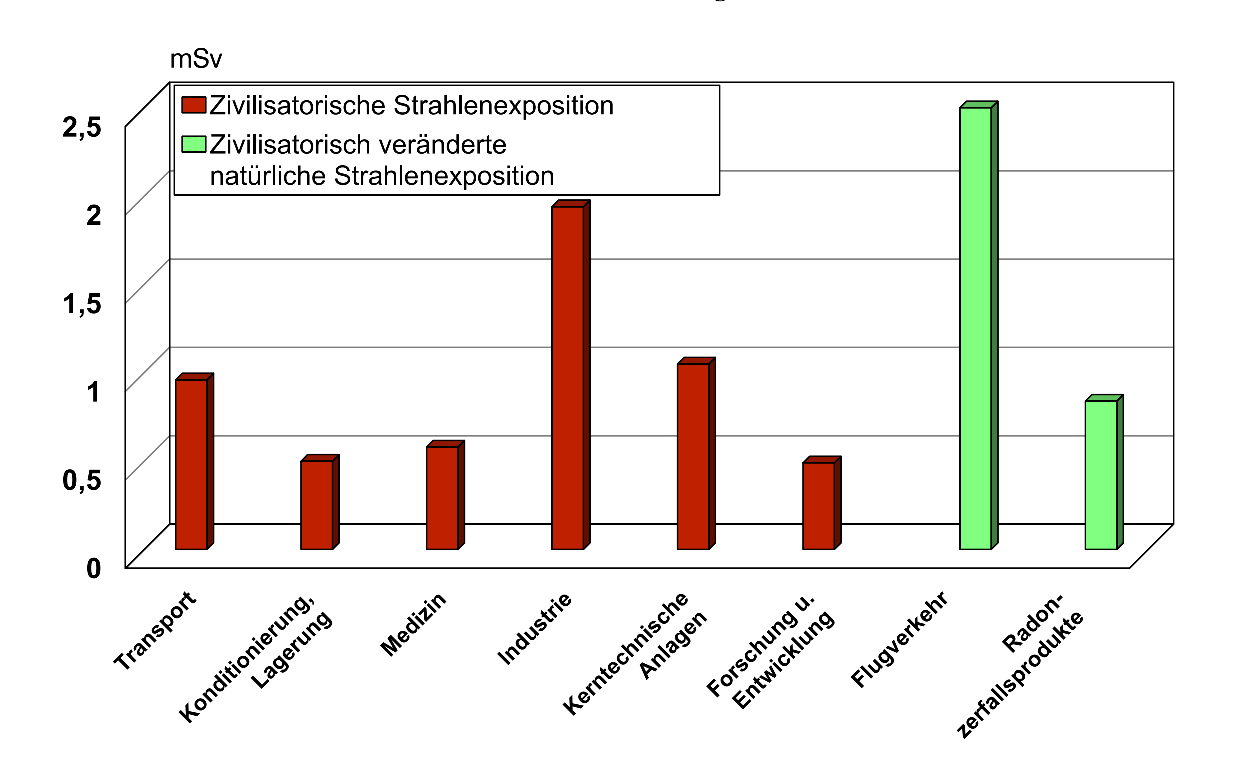


Abbildung 2

Mittlere Jahres-Personendosis strahlenexponierter Personen in Deutschland
im Jahr 2001 in bestimmten Tätigkeitsbereichen



zivilisatorischen Strahlenexposition. Die Ableitungen radioaktiver Stoffe lagen bei allen kerntechnischen Anlagen unterhalb, bei den meisten weit unterhalb der genehmigten Jahreswerte.

Bei der beruflichen Strahlenexposition hat sich der Beitrag gegenüber dem Vorjahr nicht verändert. Die Zahl der beruflich strahlenexponierten Personen betrug im Jahr 2001 ca. 316 000. Die mittlere Jahresdosis der Überwachten mit von Null verschiedenen Jahrespersonendosiswerten (ca. 45 000 Personen) beläuft sich auf 1,03 mSv. Abbildung 2 gibt einen Überblick der Strahlenexposition dieser Personen, aufgeschlüsselt nach Tätigkeitsbereichen. Die Zahl für den Flugverkehr beruht auf einer Schätzung.

Der Anteil an der effektiven Dosis durch die in den vergangenen Jahrzehnten in der Atmosphäre durchgeführten Kernwaffenversuche ist weiterhin rückläufig. Er betrug 2001 weniger als 0,01 mSv. Seit 1981 wurden keine Kernwaffenversuche mehr in der Atmosphäre durchgeführt.

Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl

Die durch den Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl resultierende mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung ging zwar von 0,11 mSv im Jahr 1986 auf weniger als 0,015 mSv im Jahre 2001 zurück, dennoch finden sich in Lebensmitteln aus Waldgebieten vereinzelt noch stark erhöhte Cäsium-137-Werte. Regional treten Expositionen auf, die bis zu einer Größenordnung über den genannten liegen.

Gesamtbewertung für ionisierende Strahlung

Die mittlere effektive Dosis der Bevölkerung durch die natürliche und die zivilisatorisch veränderte natürliche Strahlenexposition beträgt zusammen zwischen 2 und 3 mSv pro Jahr. Unter Verwendung der Dosisfaktoren der neuen Strahlenschutzverordnung ergibt sich für Erwachsene ein Wert von 2,1 mSv.

Bei der zivilisatorischen Strahlenbelastung wurde der Dosisbeitrag durch die Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in der Medizin im Jahr 2001 auf etwa 2 mSv pro Jahr abgeschätzt. Die Beiträge der anderen Strahlenquellen sind sehr gering.

Die Gesamtexposition in Höhe von 4,1 mSv ist gegenüber dem Vorjahr unverändert.

2.2 Nichtionisierende Strahlung

Durch die fortschreitende technische Entwicklung ist die Bevölkerung in immer größerem Umfang nichtionisierender Strahlung, vor allem niederfrequenten Feldern der Energieversorgung und hochfrequenten Feldern drahtloser Kommunikationsnetze, ausgesetzt. Der geplante Ausbau der Mobilfunknetze in Deutschland, insbesondere die Einführung der UMTS-Technologie, hat eine öffentliche Diskussion über mögliche gesundheitliche Risiken neuer Kommunikationstechnologien ausgelöst.

Den Bereich der nichtionisierenden Strahlung (NIR) bilden niederfrequente elektrische und magnetische bzw. hochfrequente elektromagnetische Felder (im Frequenzbereich von 0 bis 300 GHz) sowie die optische Strahlung, zu der die ultraviolette (UV-)Strahlung mit Wellenlängen zwischen 100 und 400 Nanometern (nm) gehört. Im Gegensatz zur ionisierenden Strahlung fehlt der nieder- und hochfrequenten Strahlung die Energie, um in biologischen Systemen durch Ionisierungsvorgänge schädliche Radikale zu bilden. Die Wirkung elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder äußert sich in Kräften, die auf elektrische Ladungen ausgeübt werden. Hierdurch werden Ströme im Körper verursacht, die bei hohen Frequenzen u.a. zu Temperaturerhöhungen führen können.

Basierend auf wissenschaftlich nachgewiesenen gesundheitlichen Konsequenzen werden im internationalen Konsens Grenzwertempfehlungen ausgesprochen. Die derzeit gültigen Grenzwerte für feststehende Nieder- und Hochfrequenzanlagen sind in der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder; 26. BImSchV) festgeschrieben.

Die Einhaltung der Grenzwerte von feststehenden Hochfrequenzanlagen wird in einem Anzeigeverfahren zur Erteilung der Standortbescheinigung durch die Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (RegTP) nach telekommunikationsrechtlichen Vorschriften überprüft. Laut Aussage der RegTP wurden im Jahr 2000 diese Grenzwerte nicht überschritten.

Die Exposition der Bevölkerung mit niederfrequenten Magnetfeldern, wie sie von feststehenden Niederfrequenzanlagen sowie von Haushaltsgeräten emittiert werden, liegt laut einer bayerischen Studie im Mittel weit unter den gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerten.

Die UV-Belastung der Bevölkerung ist auf Grund des heutigen Freizeitverhaltens in der Sonne und des zunehmend in Mode kommenden „Wellness"–Bereiches mit Solariennutzung kontinuierlich angestiegen. Dies hat zu einer besorgniserregenden Zunahme von Hautkrebs geführt. Ein in Deutschland praktiziertes UV-Monitoring des Bundesamtes für Strahlenschutz und des Umweltbundesamt erfasst kontinuierlich die tägliche UV-Strahlung. Die für das Berichtsjahr ermittelten Daten weisen Maximalwerte der Tagessummen von über 3000 Joule pro Quadratmeter (J/m^2) in den Monaten April bis August auf, die Minimalwerte dieser Monate liegen bei max. 1000 J/m^2. Eine statistische Auswertung der vorliegenden Messdaten lässt auf einen leichten Anstieg der UV-Strahlung schließen.

Abgesehen von der Diskussion über nichtionisierende Strahlung im Allgemeinen und die gesundheitlichen Auswirkungen des Mobilfunks im Besonderen, wurde im Berichtsjahr die Frage diskutiert, inwieweit hochfrequente elektromagnetische Strahlung Ursache für Krebserkrankungen von Bundeswehrsoldaten sein kann, die jahrelang militärische Radaranlagen bedient und gewartet hatten. Von Bedeutung für die krebsinduzierende Strahlenexpo-

sition der Betroffenen ist hauptsächlich die ionisierende Strahlung in Form von Röntgenstrahlung und nicht die Mikrowellenstrahlung der Radaranlagen.

Berichtsteil Ionisierende Strahlung

I. Natürliche Strahlenexposition

Je nach Höhenlage des Aufenthaltsortes und der geologischen Beschaffenheit des Untergrundes weist die natürliche Strahlenexposition deutliche Unterschiede auf.

Die natürliche Strahlenexposition setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen, wobei zwischen der äußeren Exposition durch Höhen- und Bodenstrahlung (kosmische und terrestrische Komponente, siehe Anhang B) und der internen Strahlenexposition durch Inkorporation radioaktiver Stoffe über Inhalation und Ingestion unterschieden wird.

Die effektive Dosis aus der äußeren Strahlenexposition beträgt im Mittel 0,7 mSv pro Jahr und wird etwa zu gleichen Teilen durch die kosmische und die terrestrische Strahlung verursacht.

Abbildung I.1 zeigt die Verteilung der externen Strahlenexposition im Freien in der Bundesrepublik Deutschland für das Jahr 2001.

Die kosmische Komponente der Strahlenexposition entsteht im Wesentlichen durch Gammastrahlung. Für den Aufenthalt in Meereshöhe wird dafür eine effektive Dosis von 0,24 mSv pro Jahr berechnet. Die durch Neutronen (0,03 mSv pro Jahr) und kosmische Radionuklide (0,01 mSv pro Jahr) verursachten Beiträge zur kosmischen Strahlenexposition sind von untergeordneter Bedeutung.

Die terrestrische Komponente der äußeren Strahlenexposition wird im Wesentlichen durch die Gammastrahlung des Kalium-40 sowie durch die Strahlung der Radionuklide aus den natürlichen Zerfallsreihen von Uran-238 und Thorium-232 verursacht. Im Boden liegt der Gehalt an Kalium-40 im Bereich von 40 bis 1000 Bq pro Kilogramm Trockenmasse (TM). Innerhalb der U-238-Zerfallsreihe spielt das Radium-226 die wichtigste Rolle, der Gehalt im Boden liegt in Deutschland zwischen 10 und 200 Bq pro Kilogramm TM, in Ausnahmefällen auch darüber. Die Gehalte an Thorium-232 und der Nuklide aus der Thorium-Reihe liegen typischerweise zwischen 8 und 80 Bq pro Kilogramm. Die durch terrestrische Strahlung verursachte effektive Dosis errechnet sich im Mittel zu 0,41 mSv pro Jahr, wobei die effektive Dosis durch Aufenthalt im Freien 0,07 mSv und in Gebäuden 0,34 mSv beträgt. Für diese Abschätzung wurde eine Aufenthaltsdauer von 5 Stunden pro Tag im Freien und 19 Stunden in Gebäuden angenommen. Diese Werte leiten sich von einem Wertebereich für die effektive Jahresdosis bei ständigem Aufenthalt im Freien von 0,06 mSv bis 2,2 mSv bzw. bei ständigem Aufenthalt in Gebäuden von 0,09 mSv bis 2,4 mSv ab. Die höheren Werte findet man vor allem über Granitmassiven mit einer erhöhten spezifischen Aktivität der oben genannten Radionuklide.

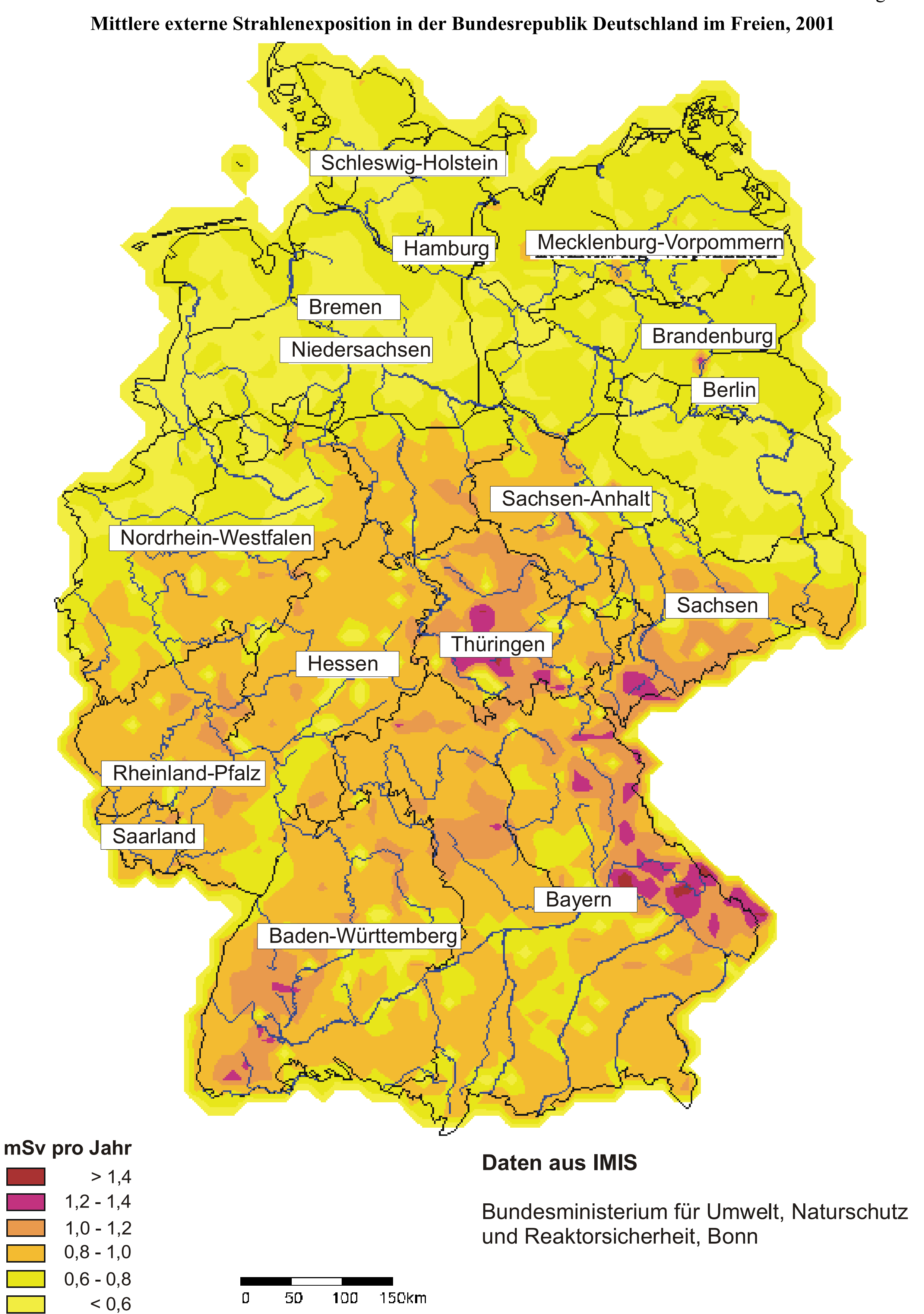
Die innere Strahlenexposition durch die Inhalation radioaktiver Stoffe bei ständigem Aufenthalt im Freien beträgt ca. 0,2 mSv. Ein weitaus größerer Teil wird durch den Aufenthalt in Häusern verursacht. Er ist zivilisatorisch bedingt und wird im Kapitel II ausführlich behandelt.

Kalium-40 sowie die Radionuklide der natürlichen Zerfallsreihen von Uran-238 und Thorium-232 werden über Trinkwasser und Nahrung (Ingestion) aufgenommen und rufen eine mittlere effektive Jahresdosis von 0,3 mSv hervor.

Wenn man die Komponenten der effektiven Dosis durch natürliche Strahlenquellen von 0,7 mSv für die äußere Strahlenexposition, 0,3 mSv für die Ingestion und 0,2 mSv für die Inhalation aufsummiert, ergeben sich im Mittel 1,2 mSv pro Jahr. Dieser Wert erhöht sich durch den zivilisatorisch bedingten Aufenthalt in Häusern um 0,9 mSv auf insgesamt 2,1 mSv pro Jahr.

Abbildung I.1

Mittlere externe Strahlenexposition in der Bundesrepublik Deutschland im Freien, 2001



II. Zivilisatorisch veränderte natürliche Strahlenexposition

1. Radioaktive Stoffe in Baumaterialien und Industrieprodukten

Zum Schutz der Bevölkerung gegen ionisierende Strahlen werden seit mehr als 25 Jahren in der Bundesrepublik Deutschland Untersuchungen und Bewertungen der Strahlenexposition durch radioaktive Stoffe in Natursteinen, Baustoffen und Rückständen industrieller Prozesse durchgeführt. In mehr als 1500 Proben dieser Materialien wurden die spezifischen Aktivitäten des Radium-226, Thorium-232 und Kalium-40 bestimmt.

Die spezifischen Aktivitäten natürlicher Radionuklide weisen von Material zu Material und auch innerhalb einer Materialart große Unterschiede auf. Unter den Natursteinen besitzen kieselsäurereiche Magmagesteine, insbesondere Granite, vergleichsweise hohe Konzentrationen an natürlichen Radionukliden.

Der Mittelwert der von den Baustoffen ausgehenden Gamma-Ortsdosisleistung (ODL) in Gebäuden Deutschlands beträgt rund 80 nSv/h. Werte der ODL über 200 nSv/h sind selten.

Das durch radioaktiven Zerfall aus Radium-226 entstehende Radon-222 ist aus der Sicht des Strahlenschutzes von besonderem Interesse. In den wichtigen in Deutschland verwendeten Baustoffen Beton, Ziegel, Porenbeton und Kalksandstein wurden Radium-226-Konzentrationen gemessen, die in der Regel so gering sind, dass sie nicht zu Überschreitungen der von der Europäischen Kommission empfohlenen Richtwerte für die Radonkonzentration in Wohnungen führen.

In einigen Rückständen aus industriellen Verarbeitungsprozessen haben sich die natürlichen radioaktiven Stoffe angereichert. Bei Verwendung dieser Rückstände z.B. als Sekundärrohstoffe im Bauwesen sind erhöhte Strahlenexpositionen der Bevölkerung nicht auszuschließen.

Um dies zu vermeiden werden in der Anlage XII der novellierten Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) die überwachungsbedürftigen Rückstände genannt, bei deren Verwendung der Strahlenschutz beachtet werden muss. Durch die ebenfalls in Anlage XII der StrlSchV festgelegten Überwachungsgrenzen für die Verwertung dieser Materialien zum Bauen wird sichergestellt, dass der für Einzelpersonen der Bevölkerung geltende Richtwert der effektiven Dosis von 1 mSv pro Jahr nicht überschritten wird. Das muss auch bei der Zulassung von Baustoffen beachtet werden, denen solche Rückstände zugesetzt werden. Mit der neuen Regelung wird der Bauproduktenrichtlinie (89/106/EWG) entsprochen, nach der in den Mitgliedstaaten der Europäischen Union ein Bauprodukt nur dann in Verkehr gebracht werden darf, wenn es unter anderem die wesentlichen Anforderungen an Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz erfüllt.

2. Radon in Wohngebäuden

Bis Ende 2001 wurden in ca. 0,4% des Bestandes an Wohnhäusern Messungen der Radonkonzentration durchgeführt. Gebäude mit erhöhten Radonkonzentrationen kommen vor allem in Regionen mit geologisch bedingt erhöhter Radonkonzentration in der Bodenluft vor. Sehr hohe Werte wurden in einigen Gebieten gemessen, die durch Bergbau und seine Hinterlassenschaften geprägt sind. Dort ist vor allem Radon aus bergmännischen Auffahrungen zu beachten, das über Klüfte und Risse im Deckgebirge in die Häuser gelangen kann.

Die Radonkonzentration in der Bodenluft ist dafür ein wichtiger Indikator. Sie wurde im Rahmen bundesweiter Untersuchungen bisher an insgesamt 2213 Messorten gemessen und kartographisch dargestellt. Durch eine sich an den geologischen Verhältnissen orientierende Dichte der Messpunkte sind mit den Ergebnissen nun repräsentative Bewertungen großer Gebiete möglich.

Die in Abbildung II.1 dargestellte Karte dient ausschließlich der regionalen Orientierung. Eine Bewertung von einzelnen Gebäudestandorten ist damit nicht möglich.

Untersuchungen im Rahmen eines Forschungsvorhabens zeigten, dass das Verhältnis der Radonkonzentration in unterkellerten Erdgeschoss-Wohnräumen zu der in der Bodenluft im Median 1‰ beträgt. Das heißt, bei einer Aktivitätskonzentration von 100 kBq/m^3 in der Bodenluft können Werte im Bereich von 100 Bq/m^3 in der Raumluft des Gebäudes erwartet werden. Die Schwankungsbreite dieser Transferfaktoren ist allerdings sehr groß und hängt entscheidend von der Isolierung der Gebäude im erdberührten Bereich ab. Bei vollständigem und sorgfältig ausgeführtem Schutz der Gebäude gegen Bodenfeuchte beträgt der Transferfaktor nur 0,1 bis 0,2‰.

Das Bundesamt für Strahlenschutz und das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit haben 2001 gemeinsam ein Radon-Handbuch Deutschland herausgegeben. Dieses fasst den aktuellen Kenntnisstand zur Strahlenexposition der Bevölkerung durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Häusern sowie die Möglichkeiten zur Begrenzung der Exposition zusammen. Neben Informationen zur Untersuchung der Radonsituation in Häusern werden vor allem Erkenntnisse über das Zustandekommen hoher Radonexpositionen und über Möglichkeiten zu ihrer Vermeidung bzw. Verminderung durch bau- oder lüftungstechnische Maßnahmen beim Neubau und bei der Sanierung radonbelasteter Gebäude gegeben.

Das Handbuch richtet sich in erster Linie an Baufachleute, die mit ihrem Fachwissen und den in diesem Handbuch gegebenen praktischen Hinweisen durch die Berücksichtigung einfacher baulicher Maßnahmen einen wichtigen Beitrag zur Vermeidung oder Reduzierung erhöhter Strahlenexpositionen der Bevölkerung durch Radon in Gebäuden leisten können. Darüber hinaus ist das Handbuch auch von Interesse für kommunale Gebietskörperschaften, Hauseigentümer, Bau- und Liegenschaftsverwaltungen, auf dem Gebiet des Umweltschutzes tätige

Abbildung II.1

Übersichtskarte der Radonkonzentration in der Bodenluft für die Bundesrepublik Deutschland

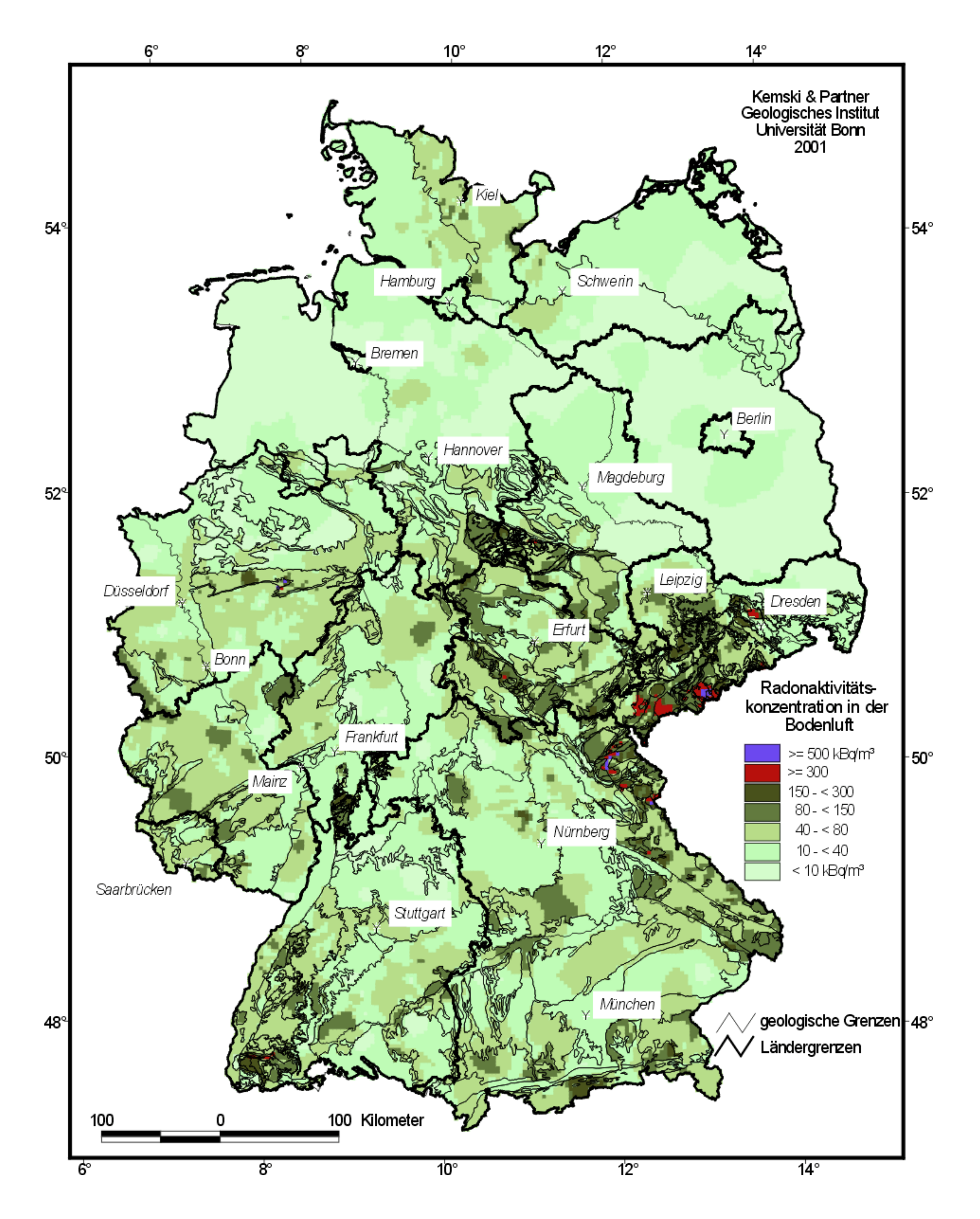
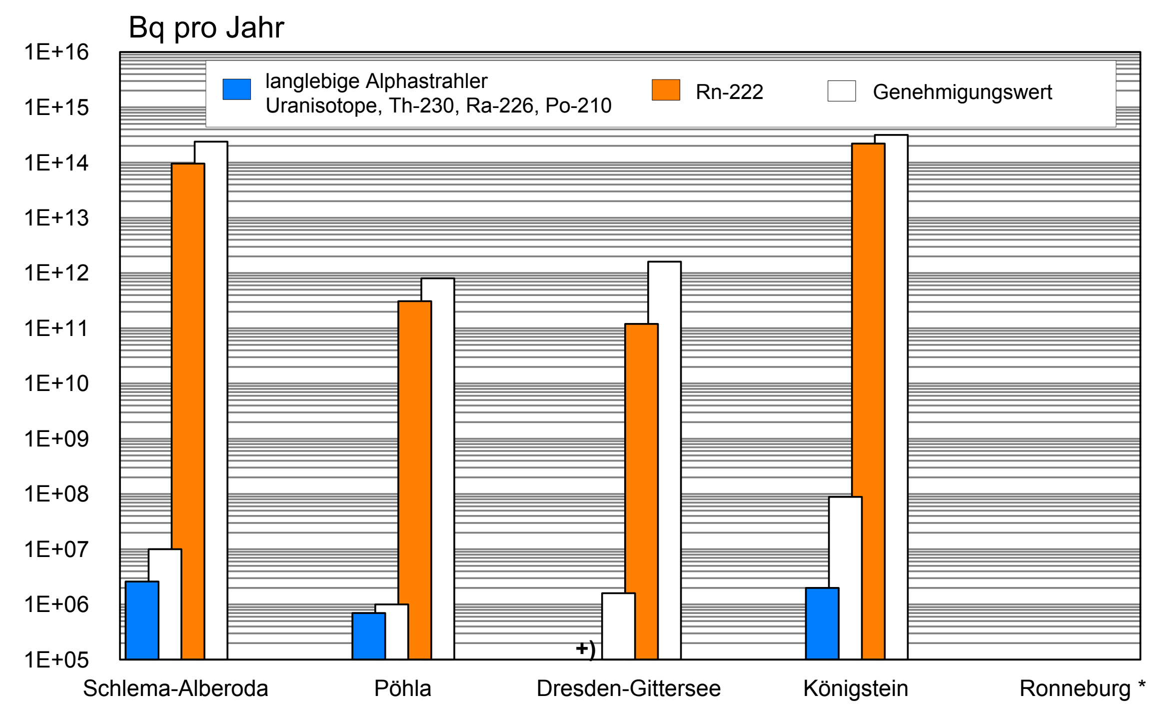


Abbildung II.2

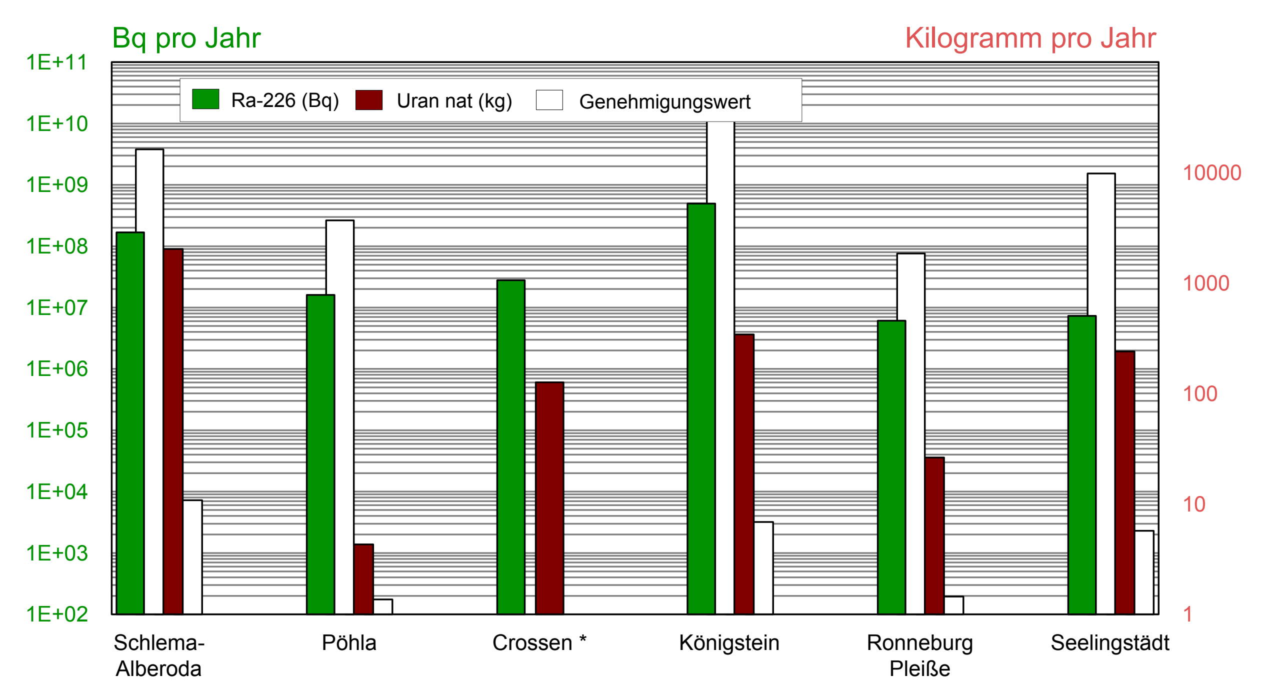
Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Abwettern bzw. der Abluft in die Atmosphäre im Jahr 2001



+) Kleiner oder gleich Nachweisgrenze
*) Der Betriebsteil Ronneburg stellte im Jahr 2001 die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Abwettern/Abluft ein

Abbildung II.3

Ableitung radioaktiver Stoffe mit den Schacht- bzw. Abwässern in die Oberflächengewässer im Jahr 2001



* Keine Genehmigungswerte

Messstellen und Ingenieurbüros sowie für Umweltmediziner.

3. Radioaktive Stoffe in der Umwelt als Folge des Bergbaus

3.1 Umgebungsüberwachung im Zusammenhang mit der Sanierungstätigkeit der Wismut GmbH

Die Sanierungsbetriebe der Wismut GmbH ermitteln unter Kontrolle der zuständigen Landesbehörden die Ableitungen radioaktiver Stoffe und die durch die bergbaulichen Tätigkeiten insgesamt verursachte radioaktive Kontamination der Betriebsflächen und des Umlandes. Für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Abwässern und Abwettern wurden durch die zuständigen Landesbehörden Genehmigungswerte festgelegt.

Die für das Jahr 2001 ermittelten Werte der Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Abwässern und Abluft bzw. Abwettern zeigen, dass die festgelegten Genehmigungswerte für radioaktive Stoffe eingehalten wurden (Abbildungen II.2 und II.3).

Wie die Überwachungsmessungen in der Umgebung der Sanierungsbetriebe zeigten, führte die Ableitung von Uran und Radium-226 mit den Abwässern in den großen Vorflutern der Bergbaugebiete (Elbe, Mulde, Weiße Elster und Pleiße) wie schon in den Vorjahren zu keinen messbaren oder nur geringfügigen Konzentrationserhöhungen der Uran- und Radium-226-Aktivitätskonzentrationen gegenüber dem natürlichen, bergbaulich unbeeinflussten Niveau. Dagegen treten auf Grund der geringeren Abflussmenge in den unmittelbar von Ableitungen betroffenen kleineren Zuflüssen zu den o. a. Gewässern Uran- und Radium-226-Konzentrationen auf, die im Vergleich zum natürlichen Niveau deutlich erhöht sind. Das Wasser dieser Gewässer wird jedoch nicht zu Trinkwasserzwecken genutzt.

Auch bei den Ableitungen von Radon-222 aus Abwetterschächten und Wetterbohrlöchern ergaben sich keine Überschreitungen der Genehmigungswerte. Im Vergleich zu den Vorjahren wurden diese Ableitungen weiter verringert. Im Jahr 2001 stellte auch der Betriebsteil Ronneburg - wie im Jahr 2000 schon der Betriebsteil Seelingstädt - die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Abwettern/Abluft ein. Auf Betriebsflächen und in der unmittelbaren Nähe von Abwetterschächten, industriellen Absetzanlagen und einigen großflächigen Halden wurden insbesondere bei ungünstigen atmosphärischen Bedingungen (z. B. Inversion in Tallagen) Spitzenwerte bis zu 500 Bq/m^3 Radon-222 festgestellt. Wie durch Messungen und Modellrechnungen nachgewiesen wurde, liegen in Entfernungen von meist einigen hundert Metern, höchstens aber einigen Kilometern von diesen Objekten die Werte der Radonkonzentration bereits wieder in der für das Gebiet typischen Schwankungsbreite von 25 bis 80 Bq/m^3. Vergleichbare Werte wurden in bergbaufreien Gebieten im Süden der neuen Bundesländer festgestellt, die ähnliche geologische Verhältnisse wie die Bergbauregionen aufweisen.

Die Messungen des Bundesamtes für Strahlenschutz im Rahmen der großräumigen Langzeitüberwachung der Radonkonzentration in der bodennahen Luft im Freien wurden auch im Jahr 2001 fortgesetzt und lieferten keine von den Messungen der Wismut GmbH abweichenden Ergebnisse.

3.2 Ermittlung der aus bergbaulicher Tätigkeit stammenden Umweltradioaktivität

Nach § 11 Abs. 8 des Strahlenschutzvorsorgegesetzes obliegt dem Bund im Bereich der neuen Bundesländer die Ermittlung der Umweltradioaktivität aus bergbaulicher Tätigkeit in Gegenwart natürlicher radioaktiver Stoffe. Das für die Aufgabe zuständige Bundesamt für Strahlenschutz hat hierzu von 1991 bis 1999 das Projekt „Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten (Altlastenkataster)“ durchgeführt. Mit dem Projekt wurden die Hinterlassenschaften des Altbergbaus und diejenigen Hinterlassenschaften des Uranbergbaus, die sich nicht mehr im Besitz der Wismut GmbH befinden, systematisch untersucht und bewertet.

Die im Rahmen des Projektes durchgeführten Arbeiten, in die ca. 8000 bergbauliche Objekte und Flächen in Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt einbezogen waren, haben wesentlich zur Klärung der Strahlenschutzsituation in den betroffenen Bergbauregionen beigetragen. Die für den Strahlenschutz zuständigen Landesbehörden wurden bereits während der Laufzeit des Projektes über wichtige Ergebnisse unterrichtet.

Im Ergebnis des Projektes hat sich gezeigt, dass die untersuchten Verdachtsflächen zum weitaus überwiegenden Teil frei von bergbaubedingter radioaktiver Kontamination sind. Von den untersuchten bergbaulichen Objekten, in der Mehrzahl handelt es sich um Halden, müssen lediglich für ca. 20% Sanierungsmaßnahmen oder Nutzungseinschränkungen erwogen werden. Die Entscheidung hierüber muss für jeden Einzelfall auf der Grundlage standortspezifischer Untersuchungen und Expositionspfadanalysen getroffen werden. Die im Projekt gewonnenen Daten und Informationen sind dafür eine wesentliche Grundlage.

Die Daten und Informationen sowie die Ergebnisse der auf der Grundlage von Empfehlungen der Strahlenschutzkommission (SSK) vorgenommenen radiologischen Bewertung wurden in Datenbanksystemen gespeichert, die auch von den Landesbehörden genutzt werden können. Im Jahr 2001 hat das BfS die Auswertung der Untersuchungen fortgesetzt. Die Ergebnisse werden in ausführlichen verdachtsflächenbezogenen Berichten zusammengefasst, die den zuständigen Behörden zur Verfügung gestellt werden. Mit der öffentlichen Präsentation der Projektergebnisse in den betroffenen Landkreisen wurde 2001 begonnen.

4. Berufliche Strahlenexposition durch Radonzerfallsprodukte

In den neuen Bundesländern wurde gemäß Einigungsvertrag vom 31. August 1990 nach fortgeltendem Recht der ehemaligen DDR die Strahlenexposition durch Inhalation

kurzlebiger Radonzerfallsprodukte im Bergbau und bei anderen Tätigkeiten, die nicht Umgang mit radioaktiven Stoffen oder Anwendung ionisierender Strahlung gemäß Strahlenschutzverordnung sind, überwacht. Die Art der Überwachung änderte sich durch das Inkrafttreten der Novelle der Strahlenschutzverordnung nur unwesentlich. Im Jahr 2001 wurde diese Überwachung für fast 2100 Personen vorgenommen, von denen 80% Sanierungsarbeiten in den Betrieben der Wismut GmbH ausführten.

Für zwei Drittel der Beschäftigten der Wismut GmbH wurden die Messungen zur Überwachung der Strahlenexposition mit personengebundenen Geräten durchgeführt. Diese am Körper getragenen Messgeräte erfassen die Strahlenexposition durch Radonzerfallsprodukte, langlebige Alphastrahler und durch externe Strahlung. Für alle anderen überwachten Personen werden die Strahlenexpositionen entweder für vergleichbare Tätigkeiten am gleichen Arbeitsplatz von den individuell ermittelten Expositionen abgeleitet (Wismut GmbH) oder durch repräsentative Konzentrationsmessungen an den Arbeitsplätzen unter Berücksichtigung der entsprechenden unterschiedlichen Aufenthaltszeiten bestimmt. Für die zuletzt genannten Arbeitsplätze liefern die langlebigen Alphastrahler und die externe Strahlung im Allgemeinen nur einen vernachlässigbaren Beitrag, der pauschal mit insgesamt 10% der ermittelten Dosis berücksichtigt wurde.

Die Kollektivdosis der überwachten Personen betrug im Jahre 2001 einschließlich der Exposition durch langlebige Alphastrahler und äußere Bestrahlung ca. 1,75 Personen-Sv. 1,05 Personen-Sv entfielen auf die Beschäftigten der Wismut GmbH. Für die Berechnung der aus der Strahlenexposition durch Radonzerfallsprodukte resultierenden effektiven Dosis wurde die Dosiskonversionskonvention der ICRP65 verwendet.

Die mittlere jährliche effektive Dosis aller beruflich durch Radonzerfallsprodukte exponierten Überwachten betrug 0,84 mSv. Sie lag damit weit unter dem neuen Grenzwert für die effektive Dosis von 20 mSv pro Jahr. Die höchste mittlere jährliche effektive Dosis ergab sich für Beschäftigte in einem Radiumbad mit 3,19 mSv, gefolgt von den Beschäftigten in Schauhöhlen und Schaubergwerken mit 1,98 mSv, in Wasserbetrieben mit 1,60 mSv, bei Gewinnungs- und Sanierungsarbeiten im Nichturanbergbau mit 1,59 mSv, in Bergsicherungsbetrieben mit 1,48 mSv, in der Wismut GmbH mit 0,63 mSv und im Schachtbau mit 0,57 mSv. Die insgesamt 31 Beschäftigten (1,5%) mit einer jährlichen effektiven Dosis von mehr als 6 mSv (Eingreifwert für beruflich durch Radon und Radonzerfallsprodukte strahlenexponierte Personen) lieferten einen Beitrag von 16,6% zur Kollektivdosis.

Im Jahr 2001 gab es keine Grenzwertüberschreitungen bei den beruflich exponierten Überwachten. Die höchsten individuellen effektiven Dosen wurden mit 9,9 mSv bei einem Mitarbeiter der Wismut GmbH und mit 19,6 mSv bei einem Beschäftigten eines Besucherbergwerks festgestellt.

5. Strahlenexposition des Flugpersonals

Die Strahlenexposition des Flugpersonals durch kosmische Strahlung wird maßgeblich durch die Flughöhe, Flugdauer, die geomagnetische Breite der Flugroute und die Aktivität der Sonne bestimmt. Die gewichtete Umgebungs-Äquivalentdosis, die die effektive Dosis im Flugzeug konservativ abschätzt, beträgt bei einem Langstreckenflug (Reiseroute nördlich 50° Nord) bei einer Flughöhe zwischen 8,8 und 12,5 km im Mittel 0,009 mSv pro Stunde zur Zeit der maximalen kosmischen Strahlenexposition. Bei Berücksichtigung einer Aufenthaltszeit in Reiseflughöhe von 875 Stunden pro Jahr beträgt die Dosis rund 8 mSv pro Jahr (Anwendung der Qualitätsfaktoren von ICRP 60, siehe auch: Berichte der Strahlenschutzkommission (SSK): Die Ermittlung der durch kosmische Strahlung verursachten Strahlenexposition des fliegenden Personals, Heft 1, 1995). Da die Strahlenexposition im Bereich der nördlichen Breiten am höchsten ist und zum Äquator hin abnimmt, sind bei Flügen zur Südhalbkugel die Dosiswerte um den Faktor 2 bis 3 geringer.

Mit der Novellierung der Strahlenschutzverordnung wird auch die Überwachung des fliegenden Personals erforderlich, sobald die effektive Dosis im Kalenderjahr 1 mSv überschreiten kann. Der Grenzwert für die effektive Dosis beträgt beim fliegenden Personal 20 mSv pro Jahr.

III. Zivilisatorische Strahlenexposition

1. Kerntechnische Anlagen

1.1 Zusammenfassung der Ergebnisse für kerntechnische Anlagen

Aus den für das Jahr 2001 ermittelten Werten für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Abluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen geht hervor, dass die von den zuständigen Behörden festgelegten Höchstwerte für die jährlichen Emissionen in allen Fällen eingehalten wurden. Die tatsächlichen jährlichen Ableitungen liegen im Allgemeinen deutlich unter den Genehmigungswerten, wie beispielsweise für Kernkraftwerke der Vergleich zwischen den Werten der Abbildungen III.1 bzw. III.2 und üblichen Genehmigungswerten von ca. 10^{15} Bq für Edelgase, ca. $3 \cdot 10^{10}$ Bq für Aerosole und ca. 10^{10} Bq für Jod-131 zeigt.

Die aus den Jahresableitungen für eine Referenzperson berechneten Werte der Strahlenexposition im Jahr 2001 haben die in § 47 der neuen Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) festgelegten Dosisgrenzwerte, die unverändert aus § 45 der alten Strahlenschutzverordnung übernommen wurden, unterschritten und betragen in der Regel bei der effektiven Dosis und bei den einzelnen Organdosen weniger als 10% des jeweiligen Dosisgrenzwertes.

Der Beitrag der kerntechnischen Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland sowie im angrenzenden Ausland zur mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland lag auch 2001 deutlich unter 0,01 mSv pro Jahr.

1.2 Jahresableitungen radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen

Die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Abluft und Abwasser aus kerntechnischen Anlagen werden nach der „Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen“ von den Betreibern der einzelnen Anlagen ermittelt und an die zuständigen Aufsichtsbehörden berichtet. Einzelheiten über Umfang der Messungen, Messverfahren, Probeentnahme, Instrumentierung und Dokumentation der Messergebnisse sind in den Regeln des Kerntechnischen Ausschusses festgelegt. Die von den Betreibern der Anlagen vorzunehmenden Messungen werden durch Kontrollmessungen behördlich beauftragter Sachverständiger entsprechend der Richtlinie über die „Kontrolle der Eigenüberwachung radioaktiver Emissionen aus Kernkraftwerken“ überprüft.

Die für 2001 ermittelten Jahresableitungen radioaktiver Stoffe mit Abluft und Abwasser von Kernkraftwerken sind in den Abbildungen III.1 bis III.3 angegeben und nach Nuklidgruppen aufgeschlüsselt. Sie liegen in der Größenordnung der Ableitungen der Vorjahre und unterschreiten deutlich die jeweiligen Genehmigungswerte. In Abbildung III.4 sind die Daten über die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus den Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht und dem Hahn-Meitner-Institut Berlin für das Jahr 2001 zusammengefasst. Die Ableitungen radioaktiver Stoffe aus den übrigen Forschungsreaktoren betragen im Mittel nur einige Prozent der Ableitungen von Kernkraftwerken. In Abbildung III.5 sind die entsprechenden Abwasserdaten im Jahr 2001 zusammengestellt. Abbildung III.6 enthält Angaben über die Ableitung radioaktiver Stoffe mit Abluft und Abwasser aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben.

Im benachbarten Ausland waren Ende 2001 in Grenznähe, d. h. bis zu einer Entfernung von 30 km zur deutschen Grenze, die in Tabelle III.1 auf Seite 20 aufgeführten kerntechnischen Anlagen in Betrieb. Das Kernkraftwerk Mühleberg in der Schweiz wurde trotz der größeren Entfernung zur deutschen Grenze ebenfalls aufgeführt, weil es im Einzugsgebiet des Rheins liegt. Über die Jahresemissionen kerntechnischer Anlagen in EU-Ländern informiert die Kommission der Europäischen Union in den Berichten „Radioactive effluents from nuclear power stations and nuclear fuel reprocessing plants in the European Community“. Die Ableitungen der schweizerischen Anlagen werden in den jährlichen Berichten „Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz“ des Bundesamtes für Gesundheit, Bern, veröffentlicht.

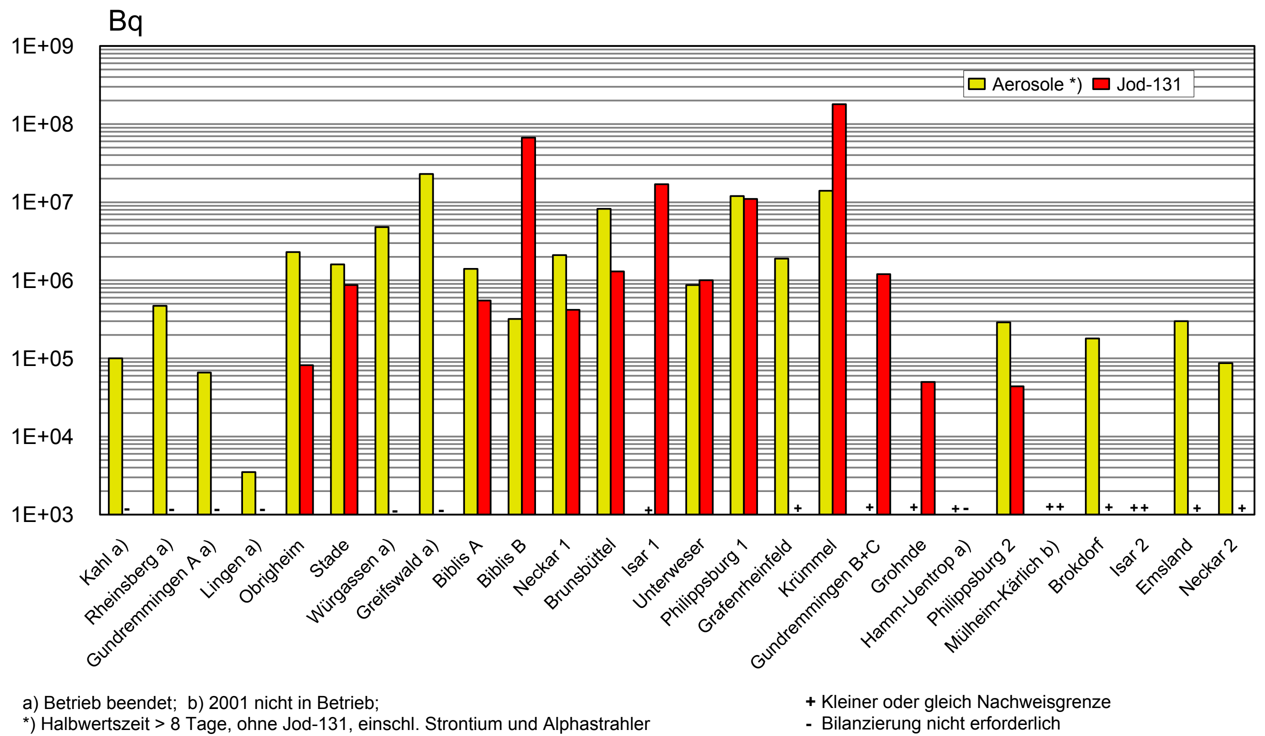
1.3 Berechnete obere Werte der Strahlenexposition in der Umgebung kerntechnischer Anlagen

Aus den Ergebnissen der Emissionsüberwachung wird die Strahlenexposition der Bevölkerung in der Umgebung der kerntechnischen Anlagen für die in der Strahlenschutzverordnung definierte Referenzperson nach dem Verfahren ermittelt, das in der „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung: Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen“ festgelegt ist. Die in den Abbildungen III.7 bis III.10 angegebenen Expositionswerte stellen obere Werte dar, die gemäß § 47 Abs. 2 der Strahlenschutzverordnung für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen ermittelt wurden. Die Referenzperson ist eine fiktive Person, für die in der Strahlenschutzverordnung (Anlage VII, Teil A bis C) die zu berücksichtigenden Expositionspfade, Lebensgewohnheiten und übrigen Annahmen festgelegt sind mit dem Ziel, dass bei deren Anwendung die Strahlenexposition des Menschen nicht unterschätzt wird. Die ungünstigsten Einwirkungsstellen sind die Stellen in der Umgebung einer Anlage, bei denen auf Grund der Verteilung der abgeleiteten radioaktiven Stoffe in der Umgebung durch Aufenthalt oder durch Verzehr dort erzeugter Lebensmittel die höchste Strahlenexposition der Referenzperson zu erwarten ist.

Die Ergebnisse der Berechnung der Strahlenexposition der Bevölkerung im Jahr 2001 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Abluft enthält Abbildung III.7. Angegeben ist die effektive Dosis für Erwachsene (Altersgruppe > 17 Jahre) und Kleinkinder (Altersgruppe > 1 bis ≤ 2 Jahre) sowie die Schilddrüsendosis für Kleinkinder. Für die in Betrieb befindlichen Kernkraftwerke ergeben sich nach der neuen Strahlenschutzverordnung im Mittel um ca. 25 % höhere Werte der effektiven Dosis als nach der alten

Abbildung III.1

Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2001
Aerosole und Jod-131

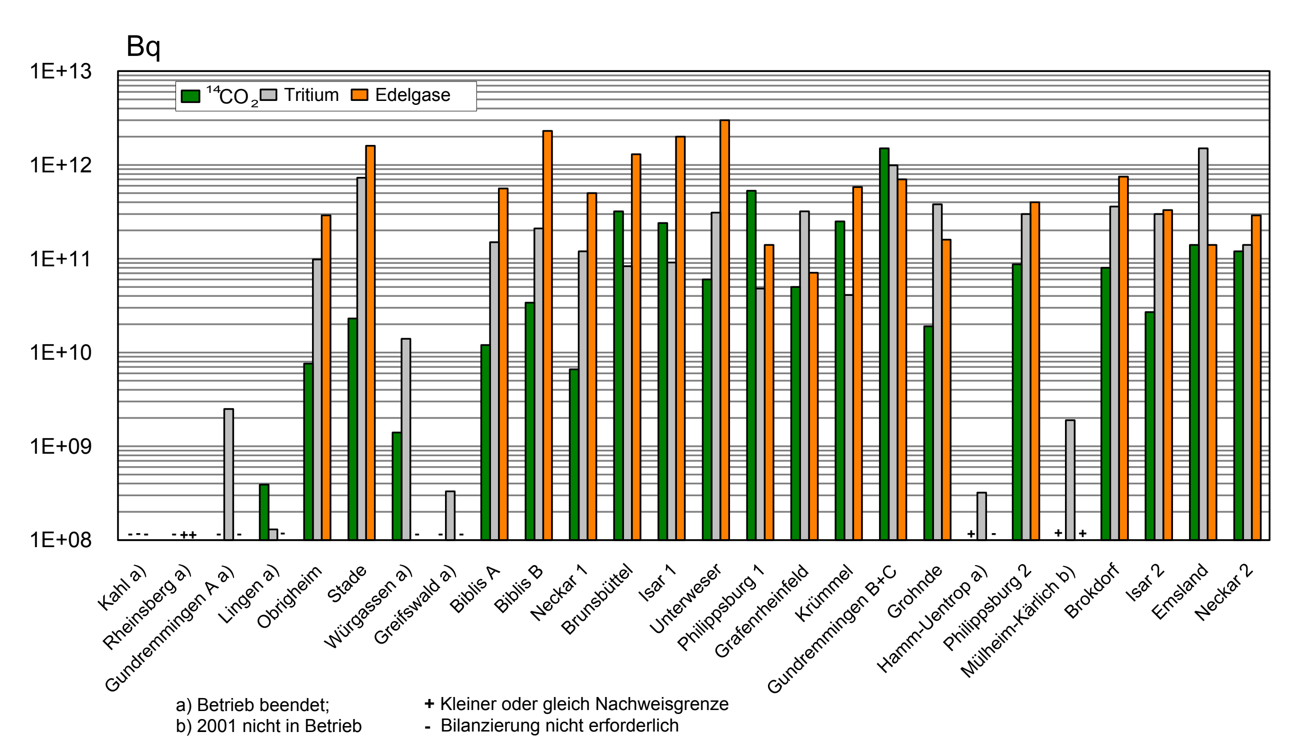


a) Betrieb beendet; b) 2001 nicht in Betrieb;
*) Halbwertszeit > 8 Tage, ohne Jod-131, einschl. Strontium und Alphastrahler

+ Kleiner oder gleich Nachweisgrenze
- Bilanzierung nicht erforderlich

Abbildung III.2

Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2001
$^{14}CO_2$, Tritium und Edelgase

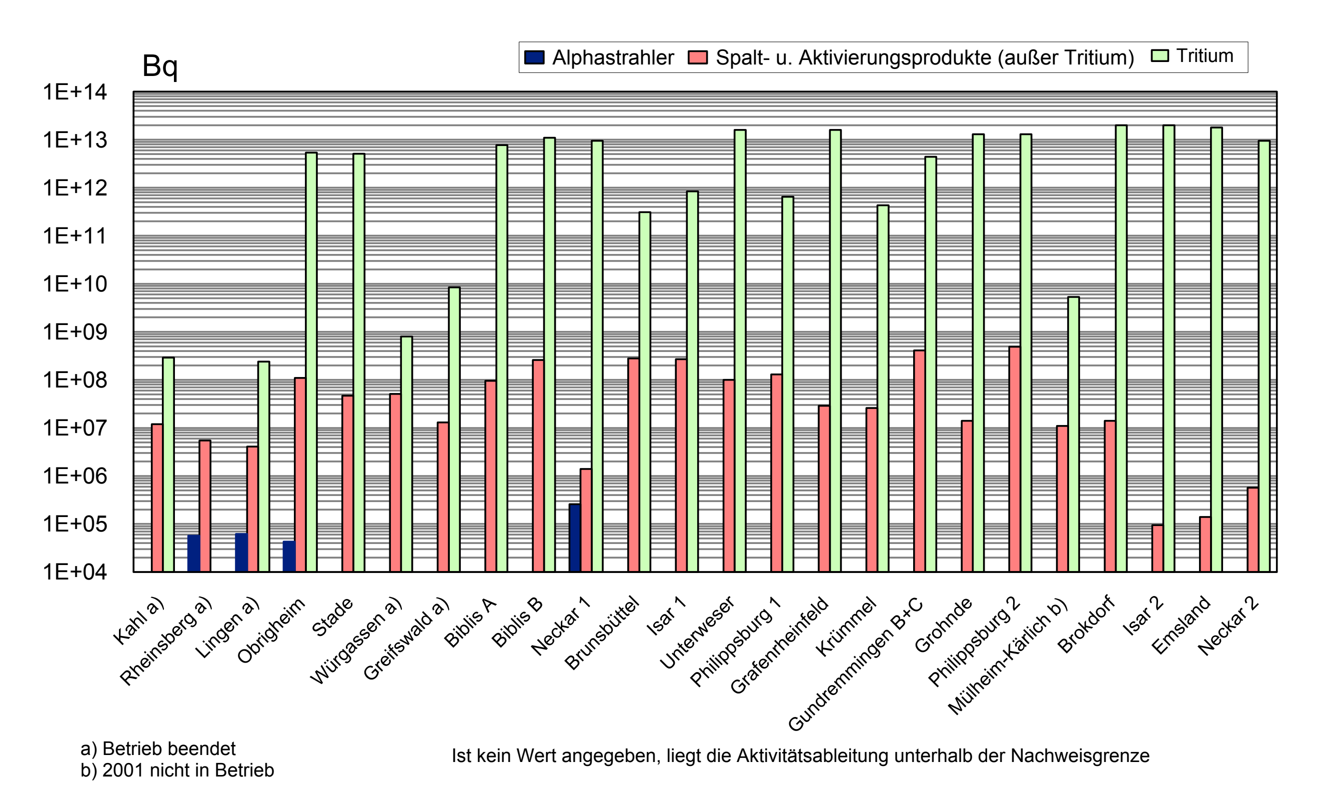


a) Betrieb beendet;
b) 2001 nicht in Betrieb

+ Kleiner oder gleich Nachweisgrenze
- Bilanzierung nicht erforderlich

Abbildung III.3

Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken im Jahr 2001
Alphastrahler, Summenwerte und Tritium

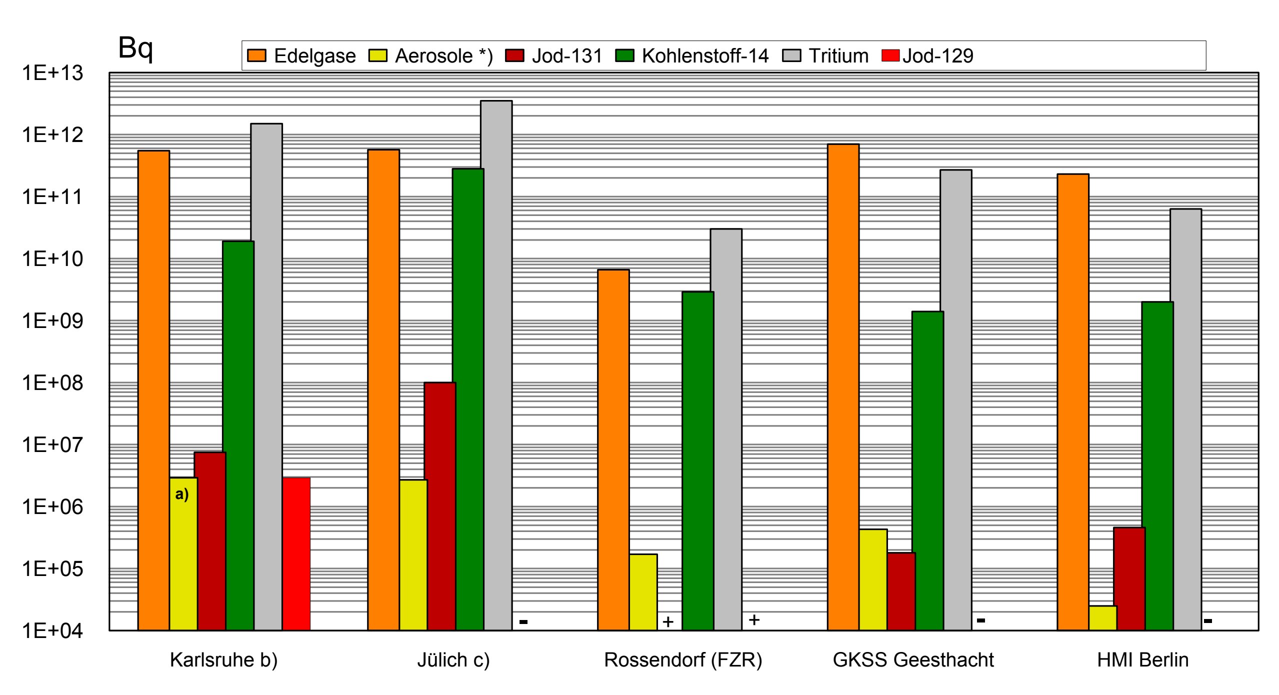


a) Betrieb beendet
b) 2001 nicht in Betrieb

Ist kein Wert angegeben, liegt die Aktivitätsableitung unterhalb der Nachweisgrenze

Abbildung III.4

Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus Forschungszentren im Jahr 2001
Aerosole, Jod-131 und Jod-129, $^{14}CO_2$, Tritium und Edelgase

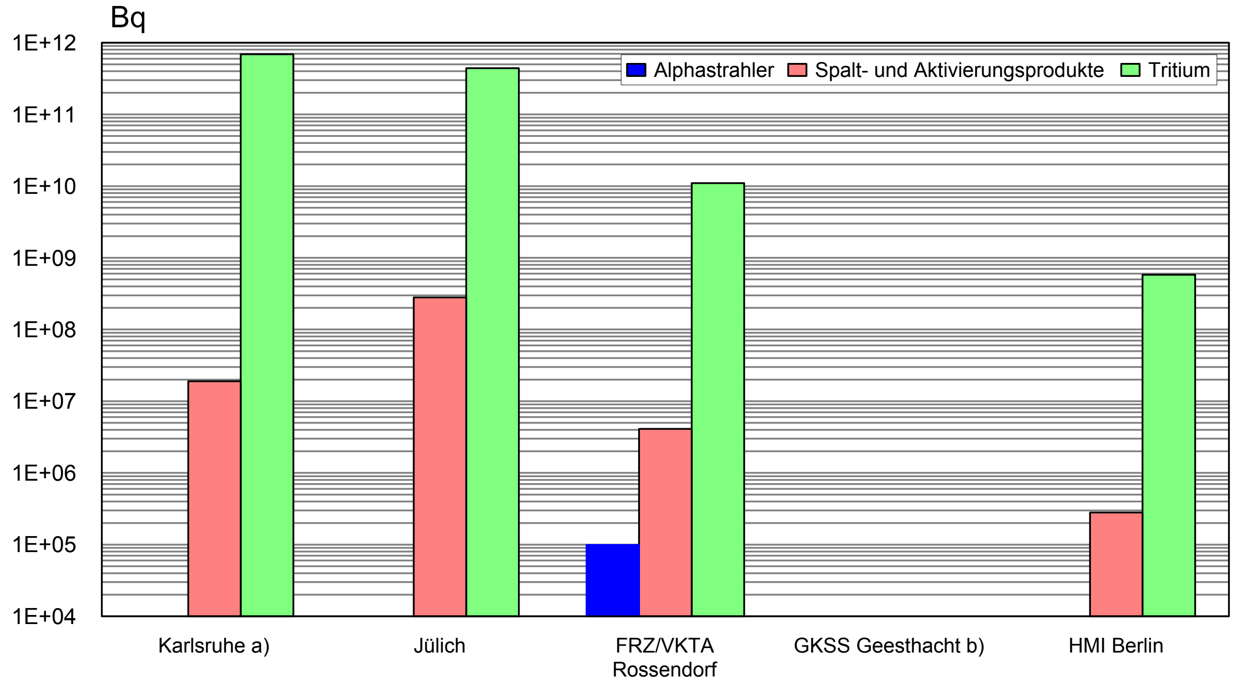


a) Davon Alphastrahler: 1,8 E05 Bq
b) Einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage
c) Einschließlich AVR

*) Halbwertszeit > 8 Tage, ohne Jod-131, einschl. Strontium und Alphastrahler
+ Kleiner oder gleich Nachweisgrenze
- Bilanzierung nicht erforderlich

Abbildung III.5

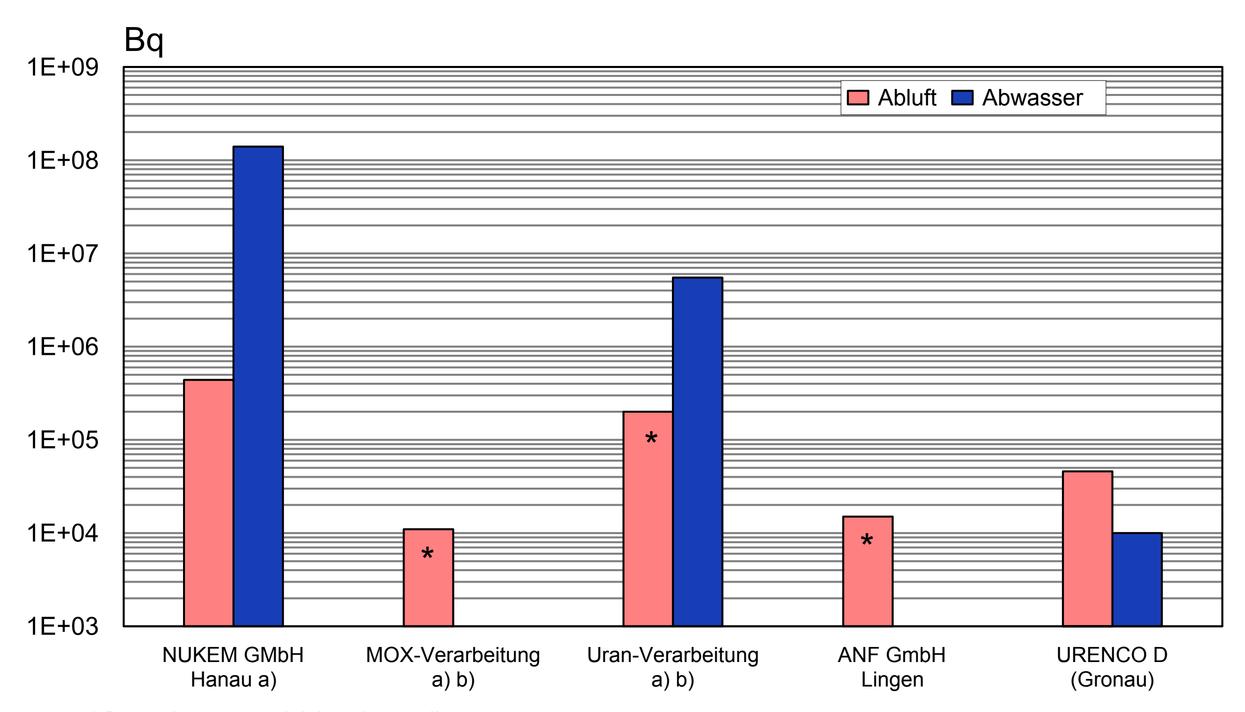
Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Forschungszentren im Jahr 2001
Alphastrahler, Summenwerte und Tritium



a) Einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage
b) Zahlenwerte liegen dem BfS z.Zt. nicht vor
Ist kein Zahlenwert angegeben, liegt die Aktivitätsabgabe unterhalb der Nachweisgrenze

Abbildung III.6

Ableitung radioaktiver Stoffe (Alphastrahler) mit Abluft und Abwasser
aus Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben im Jahr 2001



a) Brennelementeproduktion eingestellt
b) SIEMENS AG, Brennelementewerk Hanau

* Kleiner als angegebener Wert

Strahlenschutzverordnung. Dies ist vorwiegend auf höhere für die Referenzperson angenommene Verzehrsraten zurückzuführen. Die Expositionswerte der übrigen vier Altersgruppen liegen hier in den meisten Fällen zwischen den Werten für Kleinkinder und Erwachsene. Abbildung III.7 zeigt als größten Wert der effektiven Dosis für Erwachsene 0,005 mSv (rund 2 % des Dosisgrenzwertes nach Strahlenschutzverordnung) und für Kleinkinder 0,009 mSv (3 % des Dosisgrenzwertes) beim Kernkraftwerk Gundremmingen. Der größte Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 0,008 mSv (rund 1% des Dosisgrenzwertes) ebenfalls beim Kernkraftwerk Gundremmingen.

In Abbildung III.8 sind die aus den Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken resultierenden oberen Werte der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder zusammengestellt. Hierbei wurden ebenfalls ungünstige Verzehrs- und Lebensgewohnheiten angenommen, insbesondere für Erwachsene ein hoher Konsum an Flussfisch, der in der Kühlwasserfahne gefangen wurde, und für beide Personengruppen der Aufenthalt von 1000 Stunden am Flussufer oder auf Wiesen in Flussnähe. Der größte Wert der effektiven Dosis beträgt 0,0016 mSv (entsprechend rund 0,5 % des Grenzwertes) beim Standort des Kernkraftwerkes Emsland.

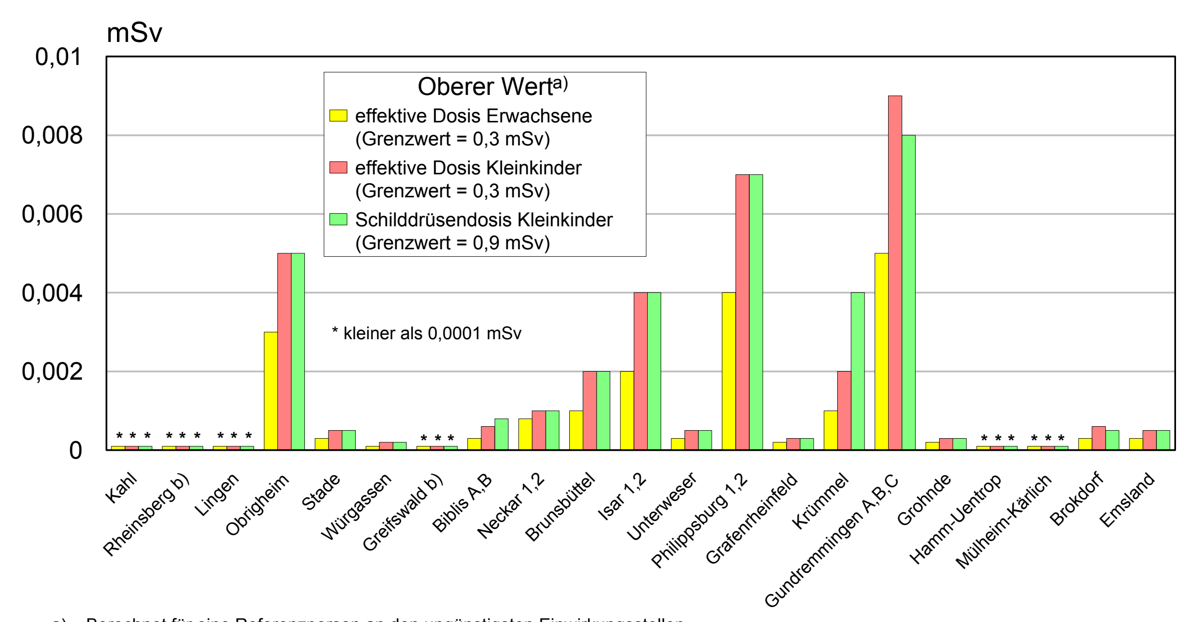
Entsprechend der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung wurde die Strahlenexposition am Unterlauf der Flüsse näher betrachtet, wobei jeweils sämtliche Emittenten berücksichtigt wurden. Die höchste effektive Dosis wurde mit etwa 0,001 mSv für Erwachsene und 0,002 mSv für Kleinkinder im Mündungsgebiet des Neckar ermittelt; am Unterlauf der Weser wurden für Erwachsene 0,0003 mSv und für Kleinkinder 0,0005 mSv berechnet. An Rhein und Main liegen die effektiven Dosen bei 0,0002 mSv bzw. 0,0003 mSv, an der Donau bei 0,0006 mSv. Zu den höheren Werten trägt vor allem die äußere Bestrahlung auf Überschwemmungsgebieten bei, die im Wesentlichen durch Ablagerungen in früheren Jahren bedingt ist.

Die in Abbildung III.9 angegebenen Werte für die entsprechenden Strahlenexpositionen durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus Forschungszentren stammen aus den Jahresberichten der Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht und des Hahn-Meitner-Instituts Berlin. Die Abbildung weist für die effektive Dosis im Jahr 2001 als höchsten Wert 0,007 mSv (rund 2 % des Grenzwertes) für Erwachsene und 0,012 mSv (4 % des Grenzwertes) für Kleinkinder beim Forschungszentrum Jülich auf. Der höchste Wert der Schilddrüsendosis für Kleinkinder ergibt sich mit 0,013 mSv (rund 1 % des Grenzwertes) ebenfalls beim Forschungszentrum Jülich.

Für die Strahlenexposition durch die Ableitung von Abwasser aus Kernforschungszentren ergeben sich im Jahr 2001 nach Angaben aus den Jahresberichten der Forschungszentren Karlsruhe, Rossendorf und Jülich obere Werte von 0,0004 mSv; 0,006 mSv bzw. 0,0008 mSv.

Abbildung III.7

Strahlenexposition im Jahr 2001 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft

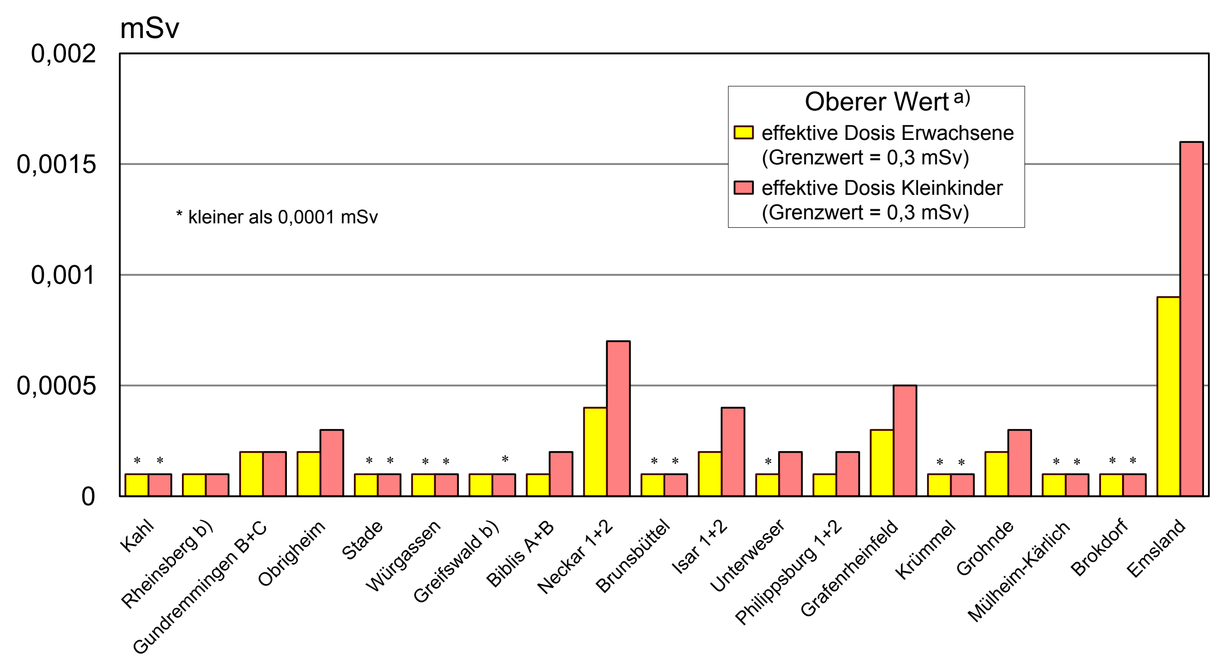


a) Berechnet für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen

b) Die Strahlenexposition konnte für Expositionspfade, bei denen Radionuklide in den Vorjahren akkumuliert wurden, nur unvollständig berechnet werden, da bei diesen Kernkraftwerken Werte für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft aus den Jahren vor 1990 (Greifswald) bzw. vor 1984 (Rheinsberg) nicht vorliegen.

Abbildung III.8

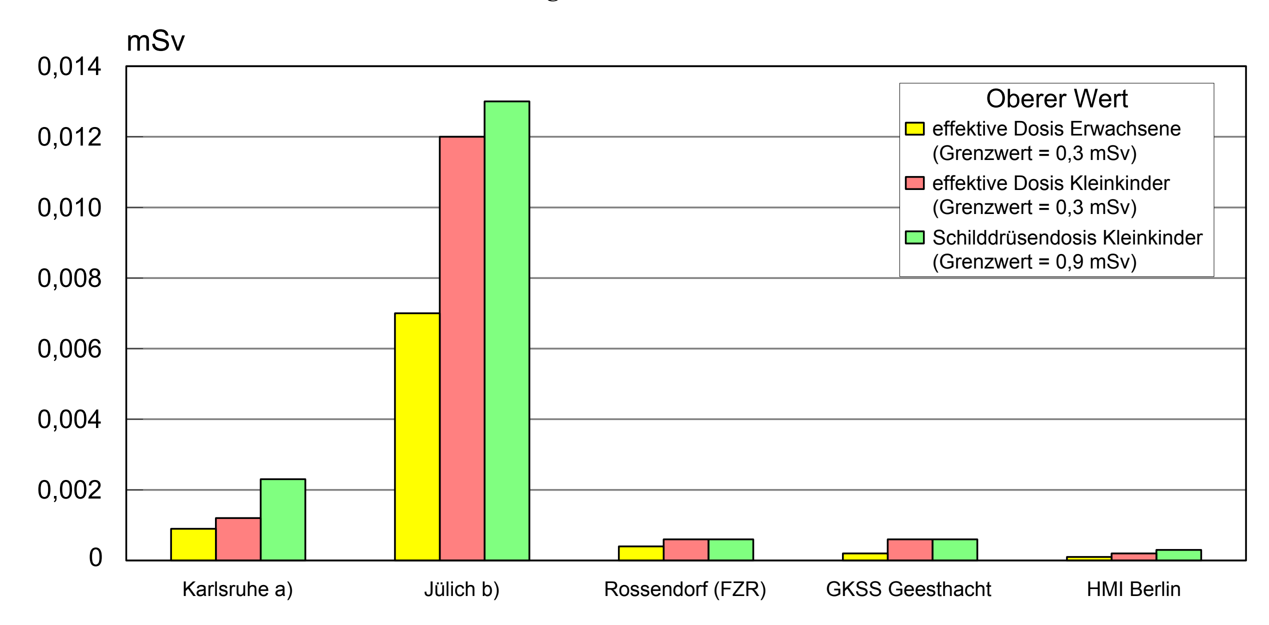
Strahlenexposition im Jahr 2001 in der Umgebung von Kernkraftwerken durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser



a) Berechnet für eine Referenzperson an den ungünstigsten Einwirkungsstellen
b) Die Strahlenexposition konnte für Expositionspfade, bei denen Radionuklide in den Vorjahren akkumuliert wurden, nur unvollständig berechnet werden, da bei diesen Kernkraftwerken Werte für die Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus den Jahren vor 1990 nicht vorliegen.

Abbildung III.9

Strahlenexposition im Jahr 2001 in der Umgebung von Forschungszentren durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft*

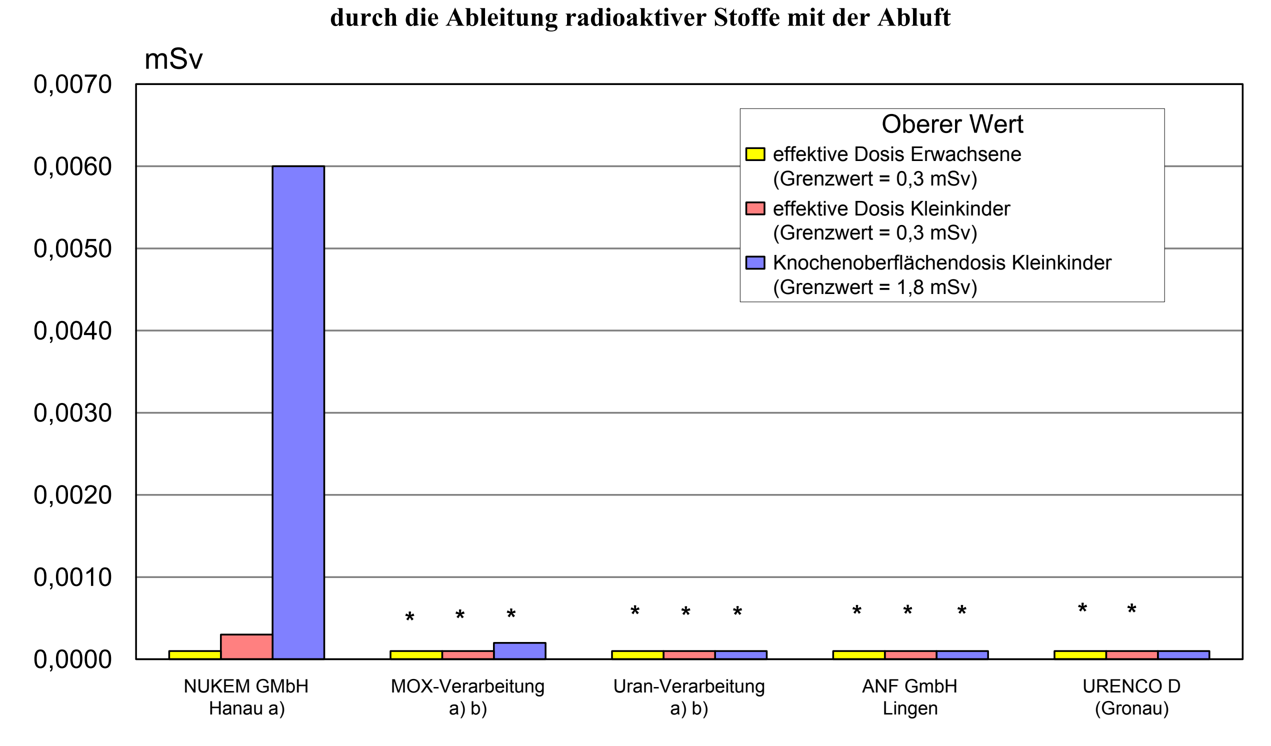


*) Entnommen aus den Jahresberichten 2001 der Forschungszentren Karlsruhe, Jülich, Rossendorf, Geesthacht und HMI-Berlin

a) Einschließlich Wiederaufarbeitungsanlage
b) Einschließlich Versuchsreaktor AVR

Abbildung III.10

Strahlenexposition im Jahr 2001 in der Umgebung von Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben durch die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft



Für die Kernbrennstoff verarbeitenden Betriebe in Hanau, Lingen und Gronau sind in Abbildung III.10 die nach der neuen Strahlenschutzverordnung berechneten oberen Werte der effektiven Dosis für Erwachsene und Kleinkinder durch die Emissionen radioaktiver Stoffe mit der Abluft dargestellt. Für Kleinkinder sind anstelle der oberen Werte der Lungendosis nunmehr die oberen Werte der Knochenoberflächendosis angegeben, da sich bei den Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieben nach der neuen Strahlenschutzverordnung für die Lunge kleinere Dosiswerte und für die Knochenoberfläche überwiegend größere Dosiswerte ergeben als nach der alten Strahlenschutzverordnung. Der höchste Wert der effektiven Dosis beträgt für Erwachsene 0,0001 mSv (rund 0,03 % des Grenzwertes) und für Kleinkinder 0,0003 mSv (0,1 % des Grenzwertes). Der höchste Wert der Knochenoberflächendosis für Kleinkinder ist 0,006 mSv (rund 0,3 % des Grenzwertes).

Die durch die Ableitungen von Alphastrahlern mit dem Abwasser bedingten Werte der effektiven Dosis von Erwachsenen und Kleinkindern in der Umgebung Kernbrennstoff verarbeitender Betriebe liegen wie auch im Vorjahr bei jeweils weniger als 0,0001 mSv.

Die Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft und dem Abwasser aus dem Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) ist in Tabelle III.2 aufgeführt. Der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe im Jahr 2001 mit der Abluft ermittelte Wert der effektiven Dosis für den Erwachsenen betrug 0,0004 mSv, für Kleinkinder 0,0007 mSv; dies sind 0,1 % bzw. 0,2 % des Grenzwertes nach der neuen Strahlenschutzverordnung. Die Lungendosis errechnete sich zu 0,0007 mSv für Erwachsene und 0,0013 mSv für Kleinkinder (ca. 0,1 % des Grenzwertes). Der durch die Ableitung radioaktiver Stoffe im Jahr 2001 mit dem Abwasser ermittelte Wert der effektiven Dosis liegt unterhalb von 0,0001 mSv für Erwachsene und Kleinkinder.

Bei den Kernbrennstoff-Zwischenlagern Ahaus, Gorleben und Nord (bei Greifswald) sowie bei Fasslagern wie z. B. Gorleben, Mitterteich oder Fasslagern innerhalb kerntechnischer Anlagen treten im Normalbetrieb keine nennenswerten Emissionen radioaktiver Stoffe auf; dasselbe gilt für die im Berichtsjahr in Betrieb gegangenen Interimslager Neckarwestheim und Philippsburg. Daher ist die hieraus resultierende Strahlenexposition der Bevölkerung vernachlässigbar gering. Messbar ist im Allgemeinen nur die Gamma- und Neutronendosisleistung in unmittelbarer Nähe dieser Anlagen. Bei Einrichtungen wie z. B. Abklingbecken für Brennelemente oder Anlagen zur Abfallkonditionierung, die sich innerhalb von Kernkraftwerken, Kernforschungszentren und sonstigen kerntechnischen Betrieben befinden und in deren Fortluftführung bzw. Abluftplan und ggf. Abwasserbehandlung einbezogen sind, werden die Emissionen in den bilanzierten Ableitungen des jeweiligen Standortes erfasst und bei der Ermittlung der Strahlenexposition der Bevölkerung berücksichtigt.

Tabelle III.1

Grenznahe kerntechnische Anlagen im benachbarten Ausland

Land	Anlage/Standort	Entfernung zur deutschen Grenze
Schweiz	Kernkraftwerk Beznau (2 Blöcke)	ca. 6 km
	Paul Scherrer Institut Villigen/Würenlingen (Kernforschung)	ca. 7 km
	Kernkraftwerk Mühleberg	ca. 70 km
	Kernkraftwerk Gösgen-Däniken	ca. 20 km
	Kernkraftwerk Leibstadt	ca. 0,5 km
Frankreich	Kernkraftwerk Fessenheim (2 Blöcke)	ca. 1,5 km
	Kernkraftwerk Cattenom (4 Blöcke)	ca. 12 km
Niederlande	Kernkraftwerk Dodewaard (Betrieb beendet)	ca. 20 km
	Urananreicherungsanlage Almelo	ca. 15 km

Tabelle III.2

Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Abluft und dem Abwasser aus dem Endlager Morsleben im Jahr 2001

	Abluft/Bq	**Abwasser/Bq**
Tritium	4,9 E+10	n.n.
Kohlenstoff-14	1,7 E+09	---
langlebige Aerosole	1,7 E+06	---
Radonfolgeprodukte	1,2 E+10	---
Nuklidgemisch außer Tritium	---	7,1 E+02

n.n. = nicht nachgewiesen
--- = Bilanzierung nicht erforderlich

Der Betrieb grenznaher kerntechnischer Anlagen in Nachbarländern (Tabelle III.1) führte 2001 unter Anwendung der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung auf Bundesgebiet zu oberen Werten der effektiven Dosis bis zu 0,01 mSv. Für die Schilddrüsendosis eines Kleinkindes über sämtliche relevanten Expositionspfade errechnen sich obere Werte bis zu 0,03 mSv pro Jahr; den größten Beitrag zur Schilddrüsendosis liefert der Weide-Kuh-Milch-Pfad. Bei den im Rahmen der Umgebungsüberwachung durchgeführten Messungen des Radiojodgehaltes von Milchproben aus grenznahen Weidegebieten wurde im Jahr 2001 Jod-131 in Milch nicht nachgewiesen.

2. Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in der Medizin

Die medizinische Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung hat in der Bundesrepublik Deutschland einen hohen Stand erreicht. Sowohl hinsichtlich der Indikationsstellung als auch der Qualität der Durchführung werden hohe Anforderungen gestellt. In Anwendung der Strahlenschutzgrundsätze der Strahlenschutzverordnung und der Vorschriften der Röntgenverordnung muss jede Anwendung im Einzelfall gerechtfertigt sein. Darüber hinaus ist die durch ärztliche Untersuchungen bedingte Strahlenexposition soweit einzuschränken, wie dies mit den Erfordernissen der medizinischen Wissenschaft zu vereinbaren ist. Es ist in jedem Fall zu prüfen, ob durch diagnostische oder therapeutische Maßnahmen ohne Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung der gewünschte medizinische Effekt nicht ebenso erzielt werden kann.

BMU und BfS sind auf dem Weg über die Novellierung der StrlSchV und der RöV und der dazugehörigen Richtlinien zur Qualitätssicherung um eine Verringerung der Strahlenexposition durch medizinische Maßnahmen bemüht. Hierzu gehören u.a. die Vorschriften über die diagnostischen Referenzwerte. Nach wie vor ist die Hauptursache für die Strahlenexposition die Häufigkeit der Untersuchungen.

2.1 Röntgendiagnostik

Die derzeit aktuellsten Daten über die Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen für Deutschland liegen für das Jahr 1997 vor. Sie sind in Tabelle III.3 auf Seite 24 zusammengestellt. Die Erhebung wurde durch das BfS durchgeführt und basiert im Wesentlichen auf Daten der kassenärztlichen und kassenzahnärztlichen Bundesvereinigungen sowie des Verbandes der privaten Krankenversicherungen. Daraus lässt sich eine Gesamtzahl von etwa 136 Millionen Röntgenuntersuchungen einschließlich zahnmedizinischer Untersuchungen pro Jahr abschätzen. Eine grobe Fehlerabschätzung ergibt eine Schwankungsbreite von ca. ± 10%. Der Vergleich mit den Erhebungen aus dem Jahr 1994 ist nur mit Einschränkung möglich. Zum einen war die damalige Datenlage wegen der Umstellung des Medizinalwesens in den neuen Bundesländern sehr lückenhaft. Zum anderen erfolgte zwischenzeitlich eine Umstellung der Gebührenordnungen. Unter Berücksichtigung dieser Faktoren ergibt sich eine Steigerung der Untersuchungshäufigkeiten zwischen 1994 und 1997 von etwa 3 – 4%.

Eine Trendanalyse ist in Abbildung III.11 zusammengestellt. Sie lässt unterschiedliche, zum Teil gegenläufige Änderungen der Häufigkeit einzelner Untersuchungsarten erkennen. So zeigte sich einerseits im Vergleich zu 1994 eine Abnahme der Häufigkeiten von Untersuchungen im Bauchraum einschließlich des Magen-Darm-Trakts, des Gallesystems und des Harntrakts um 10 bis 50%. Dies lässt darauf schließen, dass der bereits früher beschriebene Trend zu Untersuchungsarten ohne die Anwendung ionisierender Strahlen, wie Ultraschall bzw. Endoskopie, weiter anhält. Andererseits zeigt sich eine Zunahme der Röntgenuntersuchungen des Schädels um ca. 24% und der weiblichen Brust um ca. 12%. Hierbei ist die erstere im Wesentlichen durch eine erweiterte Diagnostik im Rahmen der Zahnmedizin bedingt, während die Zunahme der Mammographien die Bedeutung dieser Methode bei der Brustkrebsfrüherkennung unterstreicht. Weitere Zunahmen finden sich bei der Computertomographie (CT) um ca. 11% und der Arteriographie einschließlich interventioneller Eingriffe um ca. 67%.

Bereiche mittlerer Werte der effektiven Dosis für häufige Röntgenuntersuchungen sind in Tabelle III.4 auf Seite 25 dargestellt. Sie basieren sowohl auf stichprobenartigen Messungen des BfS in Krankenhäusern und Arztpraxen als auch auf Dosiserhebungen im Rahmen von Forschungsvorhaben. Die Mehrzahl der Untersuchungsverfahren ist mit einer relativ niedrigen Strahlenexposition verbunden. Das sind im Wesentlichen die Untersuchungen, bei denen nur **Röntgenaufnahmen** angefertigt werden. Dabei wird ein kurzer „Röntgenblitz“ von einigen Millisekunden Dauer auf den zu untersuchenden Körperteil des Patienten gerichtet und die den Körper durchdringende Strahlung mit einem Film-Folien-System oder einem digitalen Bildempfänger sichtbar gemacht.

Zur Untersuchung von Bewegungsvorgängen oder zur genaueren Beurteilung von sich überlagernden Strukturen ist bei einigen Untersuchungen zusätzlich eine **Röntgendurchleuchtung** notwendig. Dabei durchdringt eine schwache, kontinuierliche oder gepulste Röntgenstrahlung den Körper des Patienten und erzeugt auf einem Leuchtschirm ein Bild, das mittels elektronischer Bildverstärkung auf einen Fernsehmonitor übertragen und dort betrachtet werden kann. Zu diesen Untersuchungsverfahren gehört die Arteriographie und die interventionelle Radiologie. Letzteres ist ein Verfahren, bei dem unter Durchleuchtungskontrolle Heilmaßnahmen, hauptsächlich die Aufdehnung verengter oder verschlossener Blutgefäße, durchgeführt werden.

Die **Computertomographie (CT)**, bei der der Röntgenstrahler und ein gegenüberliegender Strahlendetektor kreis- oder spiralförmig um den Körper des Patienten rotiert, liefert überlagerungsfreie Querschnittsbilder. Diese mit einer relativ hohen Strahlenexposition verbundene Methode hat eine sehr große diagnostische Aussagekraft, die mit Ausnahme der Magnetresonanztomographie (MRT) mit keinem anderen Diagnoseverfahren erreicht wird. Bei der Bewertung der Strahlenexposition ist zu be-

Abbildung III.11

Vergleich der Häufigkeiten von Röntgenuntersuchungen 1994 und 1997
Medizinische Röntgenuntersuchungen für die ambulante und stationäre Patientenversorgung, einschließlich Zahnmedizin

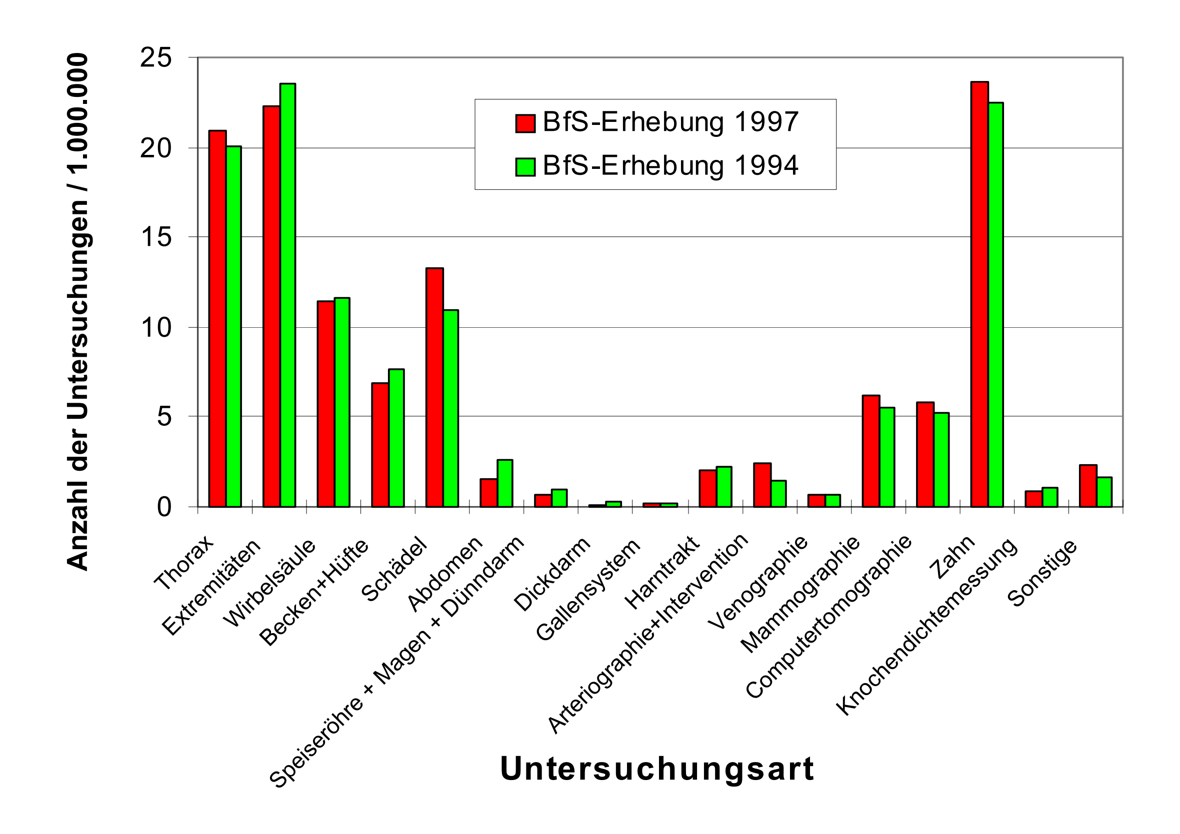
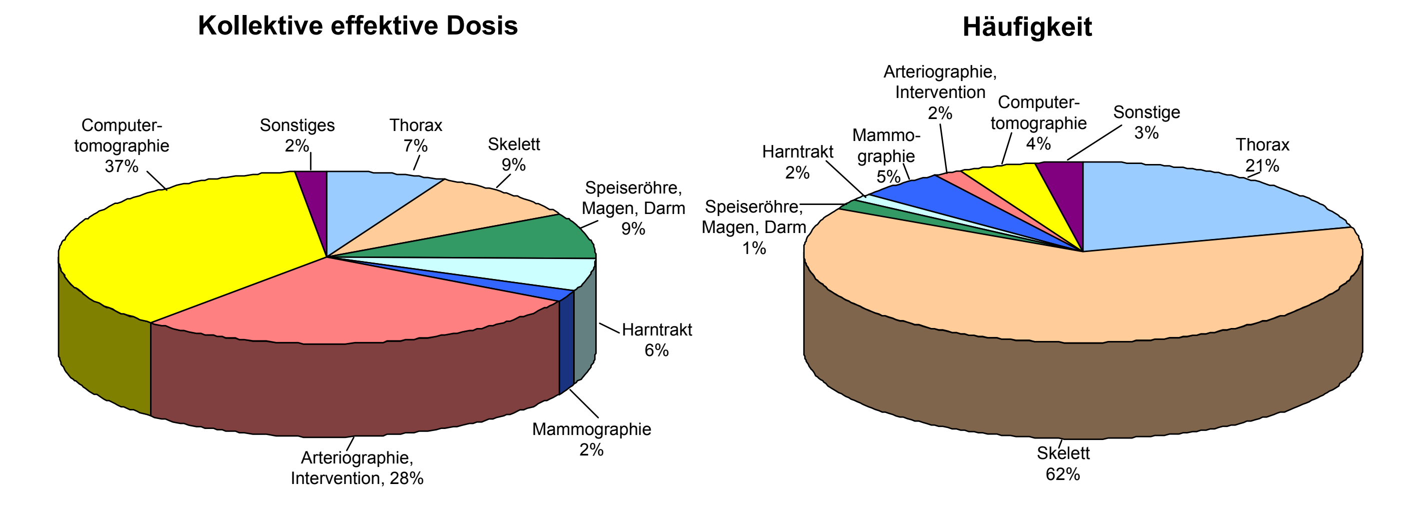


Abbildung III.12

Prozentualer Anteil der Röntgenuntersuchungen und ihr Anteil an der kollektiven effektiven Dosis in Deutschland für 1997



rücksichtigen, dass ein daraus resultierendes Risiko gegenüber dem Nutzen einer gezielt durchgeführten Untersuchung für den Patienten in den Hintergrund tritt.

Für die Abschätzung der kollektiven effektiven Dosis wird das Produkt von Untersuchungshäufigkeit und Untersuchungsdosis für die verschiedenen Untersuchungsregionen bzw. -arten berechnet. Die so rechnerisch ermittelte effektive Dosis pro Kopf der Bevölkerung in Deutschland liegt für das Jahr 1997 bei etwa 2 mSv. Eine grobe Fehlerabschätzung ergibt eine Unsicherheit von ca. ±25%. Eine erste Abschätzung auf Grund von noch nicht vollständig vorliegenden neueren Daten lässt erkennen, dass der Wert von etwa 2 mSv zwischen 1997 und 1999 nicht angestiegen ist. Den prozentualen Anteil der verschiedenen Untersuchungsarten an der kollektiven effektiven Dosis zeigt Abbildung III.12. Im Vergleich zu den für das Jahr 1994 vom BfS angegebenen Daten fällt insbesondere der Anstieg bei der Arteriographie und interventionellen Radiologie von etwa 18% auf jetzt 28% auf. Demgegenüber bleibt der Anteil der CT mit 37% weitgehend unverändert. Es kann vermutet werden, dass die Zunahme der Untersuchungshäufigkeit durch eine Dosiseinsparung je CT-Untersuchung auf Grund neuer Gerätetechniken ausgeglichen worden ist. Trotz der zunehmend häufiger eingesetzten MRT ist mit einer weiteren Zunahme bei der CT zu rechnen, weil durch neue Techniken, wie z.B. der Mehrschichttechnik, neue Untersuchungsarten mit hoher diagnostischer Aussagekraft möglich werden. Der prozentuale Anteil der verschiedenen Untersuchungsarten an der Häufigkeit ist ebenfalls in Abbildung III.12 dargestellt. Obwohl CT und Arteriographie mit Intervention zusammen nur ca. 6% der Röntgenuntersuchungen ausmachen, liegt ihr gemeinsamer Anteil an der kollektiven effektiven Dosis bei ca. 65%. Eine strenge klinische Indikationsstellung vorausgesetzt, bieten aber gerade diese Techniken einen großen diagnostischen und therapeutischen Nutzen für die Patienten.

2.2 Nuklearmedizinische Diagnostik

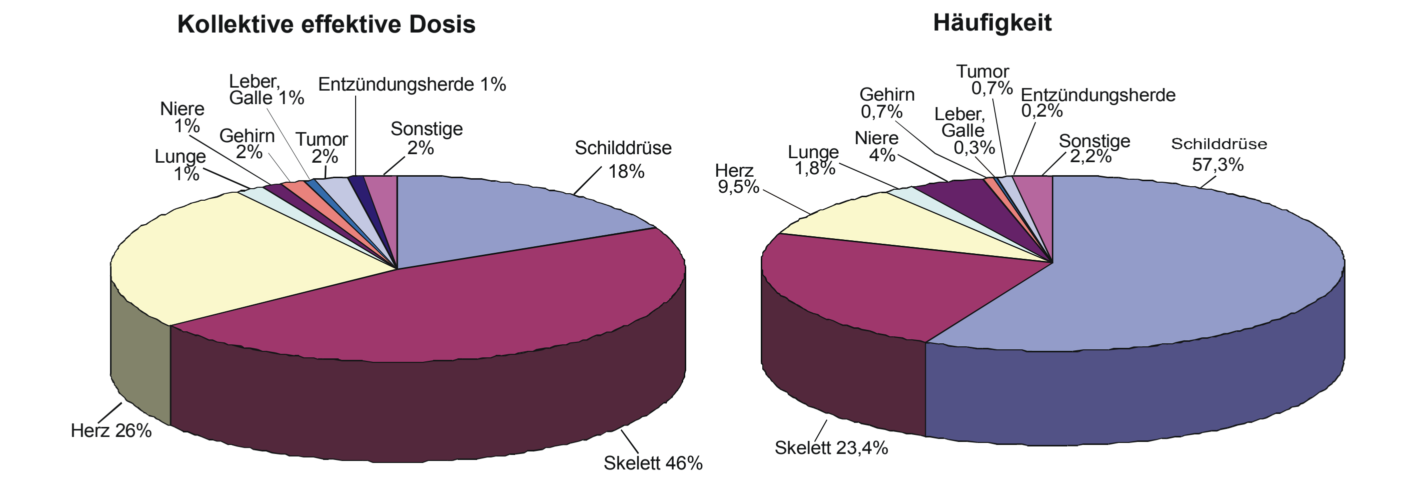
In der nuklearmedizinischen Diagnostik werden den Patienten offene radioaktive Arzneimittel verabreicht, die sich je nach ihren chemischen Eigenschaften im Stoffwechsel des Menschen unterschiedlich verhalten und in entsprechenden Organen oder Geweben des Menschen anreichern. Sie sind auf Grund ihrer Radioaktivität mit geeigneten Messgeräten, z.B. einer Gammakamera, von außen in ihrer zeitlichen und räumlichen Verteilung im Patienten nachweisbar und bildlich darstellbar. Die diagnostische Anwendung von Radiopharmaka ermöglicht die Untersuchung nahezu sämtlicher Organsysteme des Menschen. Sie liefert Aussagen zur Funktion interessierender Organsysteme sowohl hinsichtlich allgemeiner Stoffwechselstörungen als auch örtlich umschriebener Krankheitsherde in einzelnen Organen und ist daher eine wichtige Ergänzung zur vorwiegend morphologisch ausgerichteten, sonstigen bildgebenden Diagnostik. Auf Grund seiner günstigen physikalischen Eigenschaften und der guten Verfügbarkeit hat sich das Isotop Technetium-99m in der konventionellen In-vivo-Diagnostik als optimal herausgestellt und durchgesetzt.

Mit der Einführung emissions-computertomographischer Verfahren in Verbindung mit neu entwickelten radioaktiven Arzneimitteln, wie z.B. der [Fluor-18]-Flourdesoxyglukose (FDG) ist es möglich geworden, mittels der Positronenemissionstomographie (PET) Teilfunktionen des Körpers auch auf zellulärer bzw. molekularer Ebene in hoher räumlicher Auflösung bildgebend darzustellen.

In der nuklearmedizinischen Diagnostik wurden in Deutschland 1998 ca. 3,6 Millionen Radionuklidapplikationen bei ambulanten und stationären Patienten durchgeführt, was einer Anwendungshäufigkeit von 44 Untersuchungen pro 1000 Einwohner entspricht. Am häufigsten wurden bei den ambulanten Patienten Szintigraphien der Schilddrüse und des Skeletts durchgeführt (Abbildung III.13). Insgesamt wurde für die im Jahr 1998 durchge-

Abbildung III.13

Prozentualer Anteil der nuklearmedizinischen Untersuchungen und ihr Anteil an der kollektiven effektiven Dosis in Deutschland für 1998



führten nuklearmedizinischen Untersuchungen eine kollektive effektive Dosis von ca. 9140 Personen-Sv und eine jährliche effektive Dosis pro Einwohner von 0,11 mSv ermittelt. Die Skelettszintigraphie liefert mit 46% den größten Beitrag zur kollektiven effektiven Dosis, gefolgt von der Myokardszintigraphie mit 26% und der Schilddrüsenszintigraphie mit 18% (Abbildung III.13).

Die ermittelten mittleren effektiven Dosen nuklearmedizinischer Untersuchungen waren bei der Positronenemissionstomographie (PET) mit [Fluor-18]-FDG mit 8,6 mSv am höchsten, gefolgt von der Myokardszintigraphie mit 7,0 mSv, der Hirnszintigraphie mit 5,8 mSv und der Skelettszintigraphie mit 5,1 mSv. Durch die PET-Diagnostik kann die mit noch deutlich höherer Dosis verbundene Szintigraphie mit Ga-67 ersetzt werden. Die am häufigsten angewendete Schilddrüsenszintigraphie weist eine vergleichsweise niedrige effektive Dosis von 0,8 mSv auf. Die bei Kindern relativ häufig durchgeführten Nierenuntersuchungen sind ebenfalls durch eine niedrige Strahlenbelastung gekennzeichnet (0,8 mSv).

Im Vergleich zu 1997 ist 1998 eine geringfügige Reduktion der Häufigkeit nuklearmedizinischer Untersuchungen zu verzeichnen, wobei allerdings die Häufigkeit der Schilddrüsenszintigraphie zugenommen hat. Andererseits werden neue Radiopharmaka eingesetzt, die zu einer Verringerung der Strahlenexposition bei einzelnen Untersuchungsarten führten. Zum Beispiel lässt sich durch den Ersatz von Thallium-201-Chlorid durch Technetium-99m-MIBI der Beitrag der Myokardszintigraphie zur Strahlenexposition erheblich reduzieren.

Tabelle III.3

Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen im Jahr 1997 in Deutschland (82,05 Mio. Einwohner)

Organ/Untersuchung	Ambulant		Stationär [d]		Gesamt	je tausend
	in Tausend	Anteil in % [a]	in Tausend	Anteil in % [a]	in Tausend	Einwohner
Brustkorb	9508	13	15460	49	24968	304
Gliedmaßen	18877	26	3430	11	22307	272
Wirbelsäule	10067	14	1430	4	11497	140
Becken und Hüfte	5725	8	1240	4	6965	85
Schädel	12007	16	1600	5	13607	166
Bauchraum (leer)	965	1	640	2	1605	20
Speiseröhre/Magen/ Dünndarm	741	1	180	1	921	11
Dickdarm	634	1	270	1	904	11
Galle	68	0	90	0	158	2
Harntrakt	1397	2	640	2	2037	25
Arteriendarstellung und Intervention	439	1	1950	6	2389	29
Venendarstellung	356	0	300	1	656	8
Mammographie	5840	8	380	1	6220	76[b]
Computertomographie	3198	4	2580	8	5778	70
Knochendichtemessung	902	1	?	-	902	11
nicht klassifizierte Röntgenuntersuchungen	3031	4	1560	5	4591	56
sonstige Untersuchungsstellen [c]					6598	80
Zwischensumme	73755	100	31750	100	112103	1366
Zahnuntersuchungen	23624		20		23644	288
Gesamt	**97379**		**31770**		**135747**	**1654**

a) Die Prozentangaben sind auf die Humanmedizin ohne Zahnmedizin bezogen

b) entspricht 199 je 1000 Frauen im Alter ab 25 Jahren (31,29 Mio.)

c) z. B. Gesundheitsämter, Justizvollzugsanstalten u.a. Diese Untersuchungsstellen sind weder ambulant noch stationär zugeordnet

d) Die Unsicherheit der Abschätzung wirkt sich besonders bei den sehr häufigen Untersuchungen des Brustkorbs (Thorax) auf die angegebene Häufigkeit aus

Die jährliche effektive Dosis pro Einwohner durch nuklearmedizinische Untersuchungen lag 1997 und 1998 mit jeweils 0,1 mSv deutlich unter der durch die Röntgendiagnostik erzeugten jährlichen effektiven Dosis pro Einwohner von ca. 2 mSv.

2.3 Therapie mit ionisierender Strahlung

In der Strahlentherapie muss angestrebt werden, dass der zu bestrahlende Tumor die therapeutisch erforderliche Strahlendosis erhält, um so krankes Gewebe zu zerstören, bei gleichzeitig möglichst geringer Bestrahlung des umgebenden gesunden Gewebes. Dies erfordert eine enge Zusammenarbeit von Strahlentherapeuten und Medizinphysik-Experten. Ständige Qualitätssicherung und –kontrolle sind in der Strahlentherapie von zentraler Bedeutung.

Die Fortschritte in der Strahlentherapie basieren auf Entwicklungen in der Diagnostik, der Medizinischen Strahlenphysik, der Strahlenbiologie und der Informatik sowie dem Zusammenwirken dieser Bereiche. Die Integration der Strahlentherapie in komplexe Therapieschemata, z.B. kombinierte Radiochemotherapieansätze, stellt neue Herausforderungen an interdisziplinäre Zusammenarbeit auf wissenschaftlicher und klinischer Ebene.

Die am häufigsten in der Strahlentherapie eingesetzte Anlage ist der Linearbeschleuniger, mit dem hochenergetische Photonen oder schnelle Elektronen erzeugt werden. Derzeit werden in Deutschland jährlich etwa 220.000 Patienten mit ionisierender Strahlung behandelt. Davon entfallen 200.000 auf die Teletherapie und 20.000 auf die Brachytherapie.

Ziel ist es, das Tumorgewebe unter möglichster Schonung des umgebenden gesunden Gewebes zu zerstören. Dies wird zunehmend durch dreidimensionale, tumorkonforme Bestrahlung unter Einsatz dynamischer Multileaf-Kollimatoren und Kompensatoren erreicht.

Röntgenstrahlen werden beim Eindringen in den Körper stärker abgeschwächt als z.B. die Photonenstrahlung eines in der Strahlentherapie heute üblichen Linearbe-

Tabelle III.4

Bereiche mittlerer Werte für die effektive Dosis für häufige Röntgenuntersuchungen an Standardpatienten 70 ± 5 kg Körpergewicht

Untersuchungsart	effektive Dosis E [mSv]
Untersuchungen mit Röntgenaufnahmen	
Zahnaufnahme	≤ 0,01
Gliedmaßen (Extremitäten)	0,01 – 0,1
Schädelaufnahme	0,03 – 0,1
Halswirbelsäule in 2 Ebenen	0,09 – 0,15
Brustkorb (Thorax), 1 Aufnahme	0,02 – 0,05
Mammographie beidseits in je 2 Ebenen	0,2* – 0,6
Brustwirbelsäule in 2 Ebenen	0,5 – 0,8
Lendenwirbelsäule in 2 Ebenen	0,8 – 1,8
Beckenübersicht	0,5 – 1,0
Bauchraum (Abdomenübersicht)	0,6 – 1,1
Röntgenuntersuchungen mit Aufnahmen und Durchleuchtung	
Magen	6 – 12
Darm (Dünndarm bzw. Kolonkontrasteinlauf)	10 – 18
Galle	1 – 5
Harntrakt (Urogramm)	2,5 – 7
Bein-Becken-Phlebographie	0,5 – 2
Arteriographie und Interventionen	10 – 20
CT-Untersuchungen**	
Kopf	2 – 4
Wirbelsäule / Skelett	3 – 10
Brustkorb (Thorax)	6 – 10
Bauchraum (Abdomen)	10 – 25

* Neubewertung auf Grund neuer Forschungsergebnisse
** CT: Computertomographie

schleunigers, so dass eine ausreichende Dosis im tiefer liegenden Tumorgewebe nicht erreicht wird. Die Therapie mit Röntgenstrahlen wird daher fast nur noch zur Behandlung von Hautkrankheiten sowie von entzündlichen oder degenerativen Skeletterkrankungen eingesetzt.

2.4 Therapie mit offenen radioaktiven Stoffen

In der Radionuklidtherapie wird die Möglichkeit genutzt, durch die Wahl geeigneter radioaktiver Arzneimittel direkt in bzw. an der Tumorzelle zu bestrahlen. Als bekanntestes Beispiel sei hier das Radionuklid Jod-131 angeführt, das sich größtenteils im Schilddrüsengewebe anreichert und dort mit seiner Strahlung z.B. Tumorzellen vernichtet. Im Jahr 1999 wurden etwa 60.000 derartige Behandlungen durchgeführt. Weitere wichtige Anwendungen sind die Radiosynoviorthese, d.h. die Behandlung besonders schmerzhafter Gelenkserkrankungen, sowie die palliative Behandlung schmerzhafter Knochenmetastasen. Zunehmend an Bedeutung gewinnt die Radioimmuntherapie. Dabei werden spezifisch gegen maligne Tumorzellen gerichtete Antikörper radioaktiv markiert, um diese Krebszellen nach Möglichkeit gezielt durch Strahlung zu zerstören.

Wesentlich für den Langzeiterfolg einer Strahlentherapie ist die sorgfältige Durchführung und Koordinierung der Nachsorge. Da in der Strahlentherapie sehr hohe Dosen notwendig sind, um die gewünschte deterministische Wirkung zu erzielen, ist das in der Diagnostik angewendete Konzept der effektiven Dosis nicht geeignet, um eine therapeutische Exposition zu bewerten.

2.5 Bewertung der medizinischen Strahlenexposition

Die Bewertung der medizinischen Strahlenexposition muss davon ausgehen, dass sich die Dosis sehr ungleichmäßig auf die Bevölkerung verteilt. Betroffen ist der Bevölkerungsanteil, der aus der Exposition einen unmittelbaren diagnostischen oder therapeutischen Nutzen zieht. Wesentlich größer ist daher die Anzahl älterer Personen, die eine deutlich geringere Strahlenempfindlichkeit aufweisen als jüngere. Die Daten der Strahlenexposition durch die Strahlentherapie werden zur Bewertung der Exposition der Normalbevölkerung nicht herangezogen. Voraussetzung für eine umfassende strahlenhygienische Bewertung der medizinischen Strahlenexpositionen ist somit die Ermittlung der Geschlechts- und Altersverteilung der Patienten sowie der Indikationsstellung. Diese Angaben sind aus Gründen des Datenschutzes nur mit großen Schwierigkeiten und Ungenauigkeiten zu erfassen, da hier eine Einsichtnahme in personenbezogene Krankenakten erforderlich ist. Erste Erkenntnisse brachte eine durch das BfS 1991 erhobene repräsentative Stichprobe aus Akutkrankenhäusern über die Altersverteilung stationärer Patienten bei sieben Untersuchungsarten der Röntgendiagnostik, die zusammen etwa 86% der kollektiven effektiven Dosis der stationären Röntgendiagnostik ausmachen. Ein Forschungsvorhaben zur Aktualisierung der Daten ist in Aufrag gegeben. Unter Berücksichtigung der Altersverteilung sowie der damit verbundenen Strahlenempfindlichkeit ergibt sich bei vorsichtiger Abschätzung für das 1991 untersuchte Patientenkollektiv ein Reduktionsfaktor von 0,6 bis 0,7 für das aus der Strahlenexposition zu ermittelnde Risiko im Vergleich zu einer Abschätzung, die die unterschiedlichen Altersverteilungen nicht berücksichtigt.

2.6 Neues Strahlenschutzrecht

Mit Inkrafttreten der neuen Strahlenschutzverordnung wurde u.a. durch die Bestimmungen zur rechtfertigenden Indikation und zu den berechtigenden Personen sowie durch die neuen Dosisgrenzwerte der Strahlenschutz der Patienten und des Personals wesentlich verbessert. Die neue Gliederung schafft eine bessere Übersichtlichkeit und erleichtert den Anwendern und den Behörden den Umgang mit den Vorschriften.

3. Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in Forschung, Technik und Haushalt

Die Novelle der Strahlenschutzverordnung verbietet zum Schutz des Verbrauchers explizit den Zusatz von radioaktiven Stoffen bzw. die Aktivierung bei der Herstellung bestimmter Produkte wie z.B. Spielsachen, kosmetischen Mitteln und Schmuck.

Sie regelt den genehmigungsbedürftigen Zusatz von radioaktiven Stoffen und die genehmigungsbedürftige Aktivierung bei der Herstellung von bestimmten Industrieerzeugnissen bzw. Konsumgütern und die Rückführung von Produkten nach Beendigung des Gebrauchs.

3.1 Industrieerzeugnisse und technische Strahlenquellen

Bestimmte Industrieerzeugnisse wie z. B. wissenschaftliche Instrumente, elektronische Bauteile, Leuchtstoffröhren, Ionisationsrauchmelder, Gasglühstrümpfe, Schweißelektroden und keramische Gegenstände enthalten radioaktive Stoffe verschiedener Art und Aktivität. Der Umgang mit diesen Erzeugnissen wird durch ein differenziertes Anzeige- und Genehmigungssystem geregelt, das auch einen genehmigungsfreien Umgang, z. B. nach einer Bauartzulassung oder bei Unterschreiten festgelegter Aktivitätswerte, vorsieht.

Bei einigen technischen Prozessen werden Strahlenquellen zur Messung und Steuerung (z. B. Füllstand-, Dicke- und Dichtemessung) oder zur Qualitätskontrolle bei der zerstörungsfreien Materialprüfung eingesetzt. Der Umgang mit diesen technischen Strahlenquellen bedarf in der Regel der Genehmigung oder einer Bauartzulassung.

Die Strahlenschutzverordnung regelt den Umgang mit diesen Industrieerzeugnissen und die Röntgenverordnung den Einsatz von Röntgengeräten, um - neben den Arbeitnehmern - die Bevölkerung vor unnötiger Strahlenexposition zu schützen. Die mittlere effektive Dosis der Bevölkerung, die aus der Anwendung der entsprechenden radioaktiven Stoffe resultiert, liegt unter 0,01 mSv pro Jahr.

3.2 Störstrahler

Störstrahler sind Geräte oder Einrichtungen, die Röntgenstrahlen erzeugen, ohne dass sie zu diesem Zweck betrieben werden (z. B. Elektronenmikroskope und Hochspannungsgleichrichter); sie unterliegen einer Genehmigungspflicht, sofern eine Bauartzulassung nicht vorliegt. Zu den Störstrahlern gehören auch Kathodenstrahlröhren in Bildschirmgeräten, wie z. B. in Fernsehgeräten. Die Grenzwerte der Ortsdosisleistung der Störstrahler sind in der Röntgenverordnung geregelt.

Der Beitrag von Störstrahlern zur Strahlenexposition der Bevölkerung führt zu einer effektiven Dosis von weniger als 0,01 mSv pro Jahr.

4. Berufliche Tätigkeit

4.1 Personendosisüberwachung

Alle beruflich strahlenexponierten Personen, bei denen die Möglichkeit einer erhöhten Strahlenexposition von außen besteht, werden mit Personendosimetern überwacht, die von sechs behördlich bestimmten Messstellen ausgegeben und ausgewertet werden. Die Zahl der überwachten Personen betrug im Jahr 2001 insgesamt ca. 316 000, davon im Bereich Medizin ca. 241 000. Abbildung III.14 zeigt die Personenzahlen seit 1980 für die alten und ab 1990 einschließlich der neuen Bundesländer. Dabei ist zu beachten, dass bis einschließlich 2000 der Anzahl der Überwachten eine geringere Anzahl natürlicher Personen entspricht, da bei Arbeitskräften mit wechselndem Arbeitsplatz Mehrfachzählungen möglich sind. Ab dem Jahr 2001 werden durch eine personenbezogene Auswertung im Strahlenschutzregister des BfS diese Mehrfachzählungen vermieden.

Die nachstehenden Dosisangaben beziehen sich auf Photonenstrahlung, da diese in nahezu allen Kontrollbereichen die Dosis bestimmt. Dosisbeiträge durch Neutronen- und Betastrahlung sind nur in wenigen Fällen von Bedeutung. Die Summe der Jahresdosiswerte aller Überwachten (Kollektivdosis) im Jahr 2001 betrug 46 Personen-Sv. Die Beiträge der medizinischen und nichtmedizinischen Tätigkeitszweige zur Kollektivdosis zeigt die Abbildung III.15. Es ergibt sich eine mittlere Jahrespersonendosis aller Überwachten von 0,15 mSv. Bei der Beurteilung dieses Mittelwertes ist jedoch zu beachten, dass bei dem größten Teil aller Überwachten (ca. 86 %) während des ganzen Jahres Strahlendosen auftreten, die unterhalb der Erkennungsgrenze der verwendeten Dosimeter liegen (zurzeit ist eine Erkennungsgrenze von 0,05 mSv für Ganzkörpermessungen festgelegt, siehe „Richtlinie über Anforderungen an Personendosismessstellen vom 10. Dezember 2001" – GMBl. Nr. 6/2002). In diesen Fällen setzen die Messstellen für die Personendosis den Wert Null fest. Im Bereich Medizin erhalten ca. 89 % und in den nicht medizinischen Bereichen ca. 78 % der überwachten Personen keine messbare Personendosis (siehe Abbildung III.16). Bei den verbleibenden Personen ergibt sich eine ausgeprägte Häufung bei kleinen Dosiswerten (< 1mSv). Bildet man den Mittelwert nur für die Überwachten mit von Null verschiedenen Jahrespersonendo-

Abbildung III.14

Mit Personendosimetern überwachte Personen in Deutschland
(ab 1990 einschließlich der neuen Bundesländer)

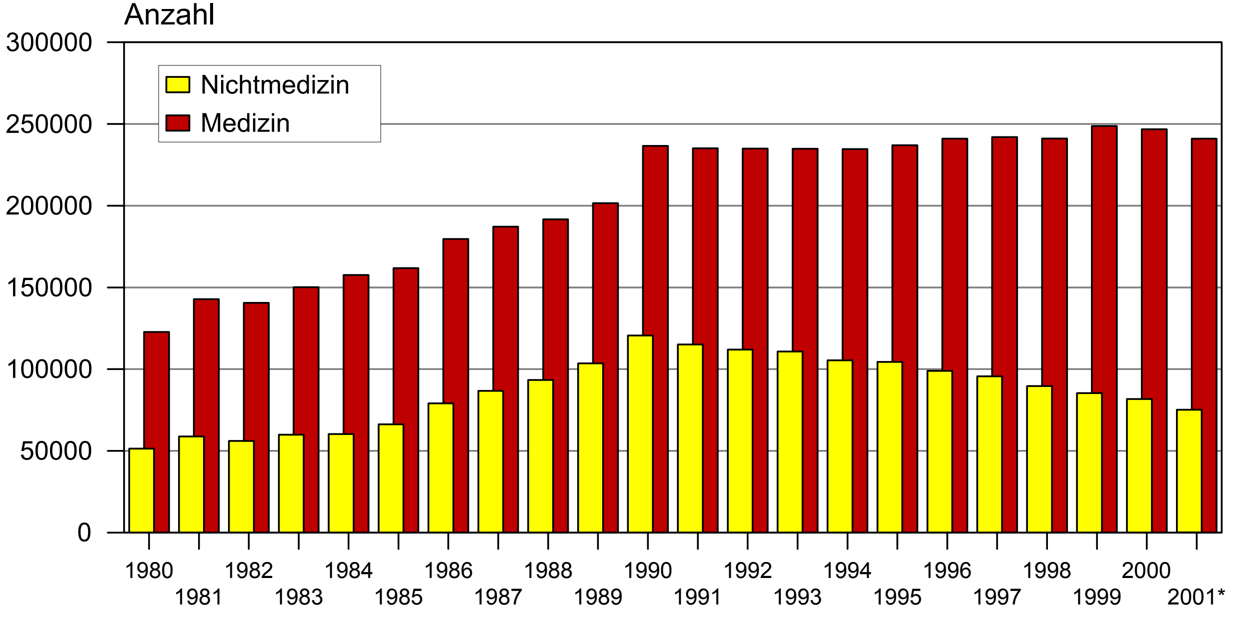


Abbildung III.15

Entwicklung der jährlichen Kollektivdosis und Verteilung auf Strahlenanwendungsbereiche
(ab 1990 einschließlich der neuen Bundesländer)

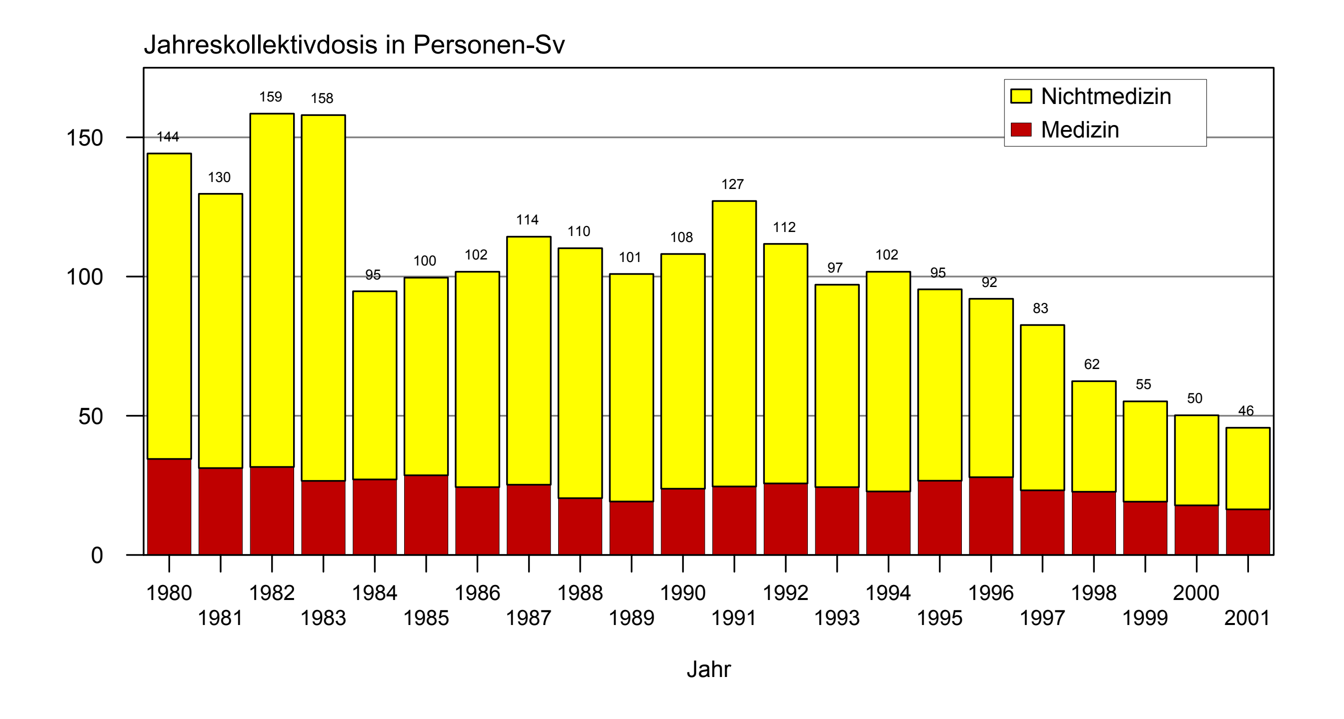


Abbildung III.16

Verteilung der Jahrespersonendosen beruflich Strahlenexponierter im Jahr 2001

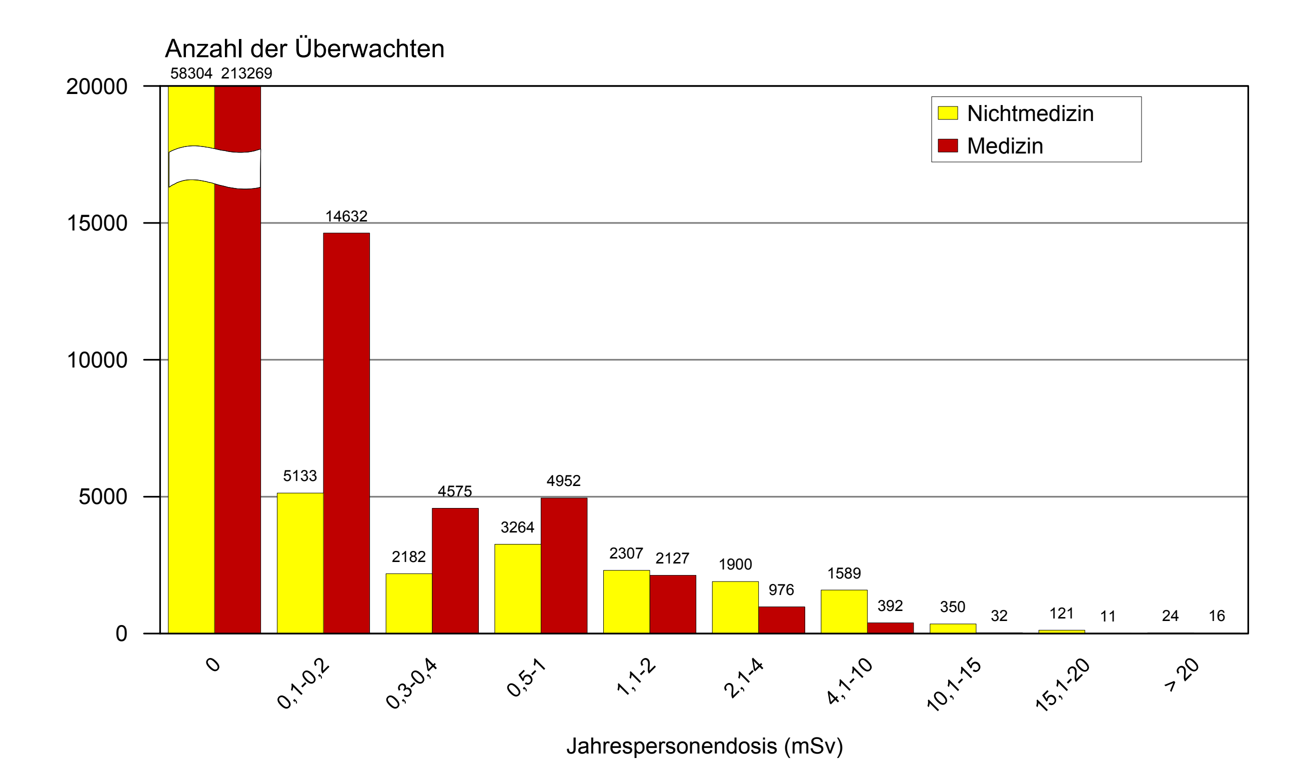


Abbildung III.17

Daten zur beruflichen Strahlenexposition in Leistungskernkraftwerken

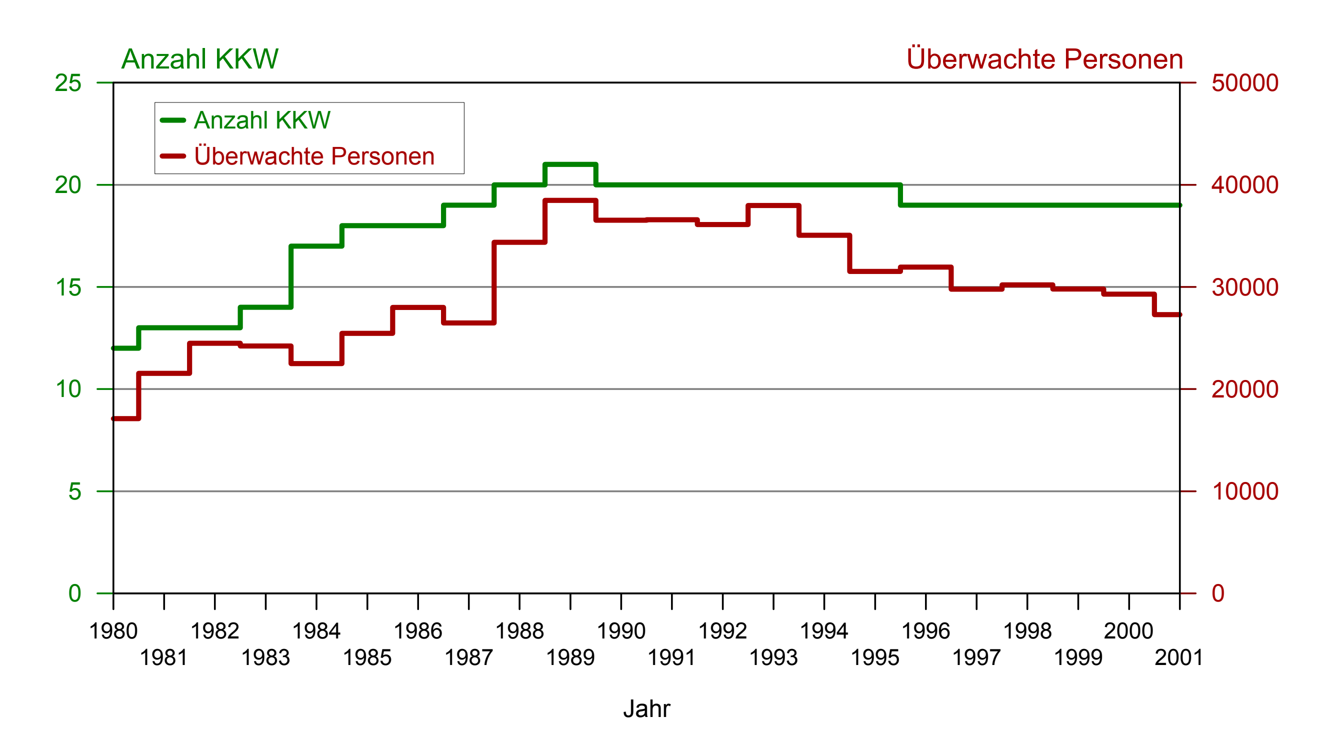
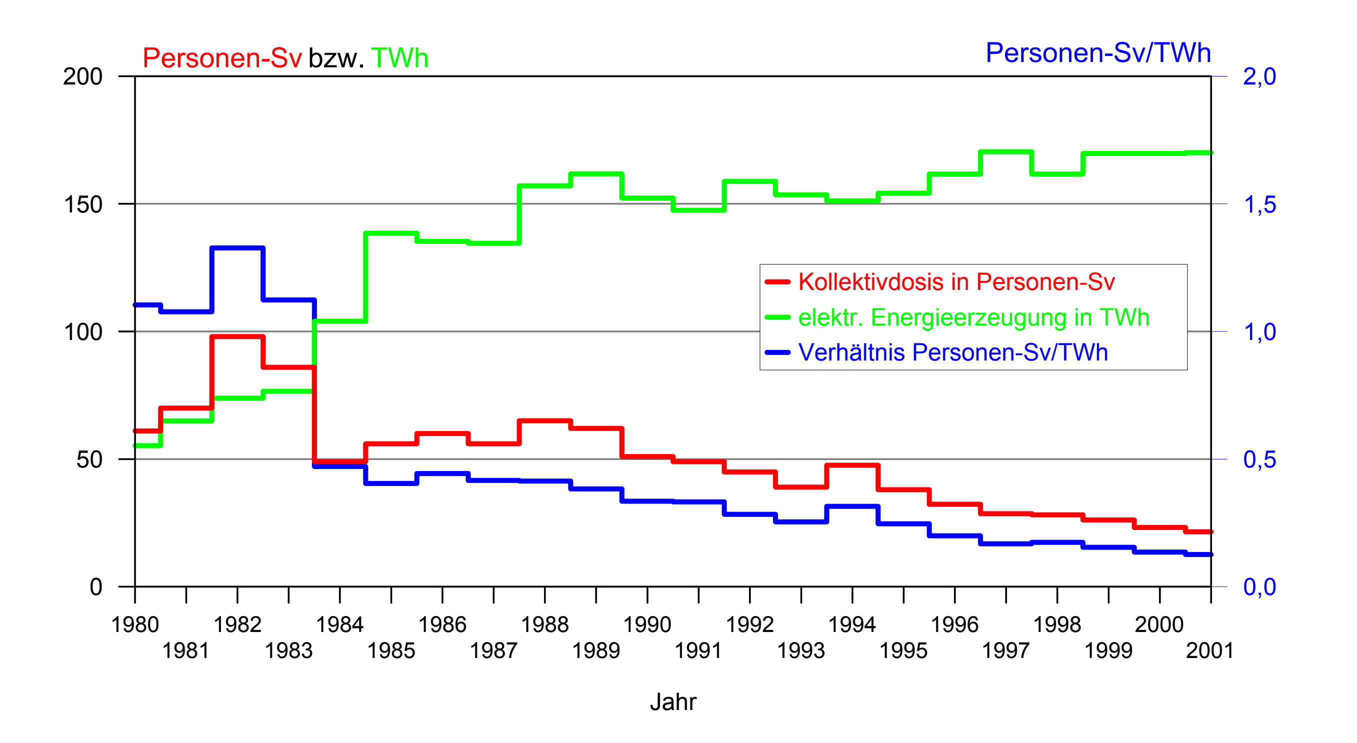


Abbildung III.18

Daten zur beruflichen Strahlenexposition in Leistungskernkraftwerken



siswerten (ca. 45 000 Personen), so ergibt sich ein Mittelwert der Jahrespersonendosis von 1,03 mSv.

Angaben über die berufliche Strahlenexposition in Leistungskernkraftwerken sind in den Abbildungen IV.17 und IV.18 enthalten.

4.2 Inkorporationsüberwachung

Beruflich strahlenexponierte Personen, bei denen während ihrer Tätigkeit eine Aktivitätszufuhr oberhalb 10% der Grenzwerte der Jahresaktivitätszufuhr nicht ausgeschlossen werden kann, werden in der Regel durch Aktivitätsmessungen in Ganz- und Teilkörperzählern bzw. durch Analysen ihrer Ausscheidungen überwacht. Nach den Erkenntnissen der zuständigen Aufsichtsbehörden der Länder werden bei diesen Inkorporationsmessungen nur geringfügige, beruflich bedingte Körpergehalte radioaktiver Stoffe ermittelt - ausgenommen in Fällen besonderer Vorkommnisse (siehe Kapitel III. 5).

5. Besondere Vorkommnisse

Eine Übersicht über besondere Vorkommnisse im Anwendungsbereich der Strahlenschutzverordnung (beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, beim Betrieb von Beschleunigern und bei der Beförderung radioaktiver Stoffe) im Jahr 2001 enthält Tabelle III.5. Die Übersicht dient dazu, mögliche Fehlerquellen beim Umgang mit radioaktiven Stoffen oder ionisierender Strahlung aufzuzeigen, um vergleichbare Vorkommnisse zu vermeiden. Die Anmerkungen zum radiologischen Gefährdungspotenzial beziehen sich auf die Umstände des Einzelfalls, vor allem auf die Beschaffenheit des radioaktiven Stoffs (mit oder ohne Umhüllung bzw. undicht, Aktivität, Eindringtiefe und biologische Wirksamkeit der Strahlung) und die Art der Handhabung oder Nutzung.

Die Übersicht beruht auf den Feststellungen der für den Strahlenschutz zuständigen Behörden der Bundesländer beim Vollzug der Strahlenschutzverordnung und stellt keinen Bericht über die im Rahmen der Bekämpfung des illegalen Handels oder der Nuklearkriminalität gewonnenen Erkenntnisse dar.

Fälle erhöhter Radioaktivität in Metallschrott sind in der Übersicht aufgeführt, soweit radioaktive Quellen gefunden wurden. Erstmals werden seit diesem Jahr auch besondere Vorkommnisse beim Umgang mit Röntgengeräten erfasst, sofern diese den Landes- und Bundesbehörden zur Kenntnis gegeben wurden.

6. Fall-out von Kernwaffenversuchen

In den Jahren 1945 bis 1980 wurde eine große Anzahl von oberirdischen Kernwaffenversuchen durchgeführt; seit 1981 gab es nur noch unterirdische Kernwaffenversuche. Im Jahr 2001 wurden keine Atomtests durchgeführt.

Der allgemeine Pegel der Umweltradioaktivität durch die früheren Kernwaffenversuche in der Atmosphäre ist in den letzten 37 Jahren stetig zurückgegangen. Ihr Anteil an der gesamten Strahlenexposition des Menschen beträgt zurzeit weniger als 0,01 mSv pro Jahr.

Tabelle III.5

Besondere Vorkommnisse beim Umgang mit radioaktiven Stoffen, Betrieb von Beschleunigern, bei der Beförderung radioaktiver Stoffe und beim Betrieb von Röntgengeräten

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
07.12.98 (Nachtrag)	Personenkontamination und Kontamination (Co-57) des Laborbereichs einer Zyklotronanlage sowie Verschleppung der Kontamination in eine Privatwohnung	Nichtbeachtung der Strahlenschutzanweisung	Inkorporation von ca. 30 kBq Co-57 (0,2 mSv)	Ordnungswidrigkeitsverfahren abgeschlossen, Bußgeldbescheide gegen Strahlenschutzbevollmächtigten und Strahlenschutzbeauftragten
17.01.00 (Nachtrag)	Beschädigung des Folienfensters eines Kr-85 Strahlers	Unsachgemäßer Ausbau aus einem zu verschrottenden Staubmessgerät	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung des Strahlers durch Herstellerfirma
06.10.00 (Nachtrag)	Aushändigung von 9 kernbrennstoffhaltigen Materialproben (0,2 - 8,2 g) an eine Behörde zur radiologischen Untersuchung	Diebstahl der Proben aus einem Kernbrennstoff verarbeitenden Betrieb vor dem Jahr 1981	In 4 Proben keine Radioaktivität feststellbar; 4 Proben enthalten Uran (nat.) unter der Freigrenze; 1 Probe enthält 73 mg hochangereichertes Uran (91% U-235)	Staatsanwaltschaftliches Ermittlungsverfahren wegen ungenehmigten Umgangs mit radioaktiven Stoffen
Januar 01	Verlust von 141 Ionisationsrauchmeldern (Am-241 29,6 kBq) bei Entkernungsarbeiten im Gebäude einer Sparkasse	Unzulässige Entsorgung	Keine	Staatsanwaltschaftliche Ermittlungen
02.01.01	Fehlbestrahlung von Patienten in einer Klinik für Strahlenheilkunde über einen längeren Zeitraum	Personalprobleme, fehlende bzw. mangelhafte Dokumentation, fehlende Sachverständigenprüfung	Unbekannt	Schließung der Klinik, staatsanwaltschaftliche Ermittlungen, personelle Konsequenzen
04.01.01	Verlust eines Ionisationsrauchmelders (Am-241 14,8 kBq) bei Umbauarbeiten eines Gebäudes in einem Industriebetrieb	Unzulässige Entsorgung und Transport zur Reststoffsammelstelle	Gefährdungspotenzial gering	Suche in Reststoffsammelstelle erfolglos; Belehrung der Mitarbeiter
11.01.01	Fund von 12 Ionisationsrauchmeldern (Kr-85 je 18,5 MBq)	Unterlassene Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
06.02.01	Fund eines Schulquellensatzes (Na-22, Kr-85, Co-60, Cs-137, 13 µSv/h an Behälteroberfläche) bei Abrissarbeiten in einer Schule	Unterlassene Kontrolle	Keine	Sicherstellung; ordnungsgemäße Entsorgung
08.02.01	Fund von 15 Kartons mit Glühstrümpfen für Gaslampen (Th-232 < 500 Bq/g) in einem Sammelgutcontainer (Export) ohne Kennzeichnung	Unzulässiger Versand; Verstoß gegen *Gefahrgutverordnung Straße* (Klasse 7)	Keine	Sicherstellung; Weitertransport nach vorschriftsmäßiger Kennzeichnung und Vorlage fehlender Unterlagen

noch Tabelle III.5

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
09.02.01	Unzulässiger Vertrieb und Verwendung von nicht bauartzugelassenen Ionisationsrauchmeldern amerikanischer Hersteller	Verstoß gegen StrlSchV		Angeordnete Rücksendung von 136 Ionisationsrauchmeldern bisher nicht erfolgt; behördliche Maßnahmen
20.02.01	Fund mit Ra-226 kontaminierter Blechteile bei einer Schrottverwertungsfirma	Unsachgemäße Entsorgung von Geräten, die radioaktive Strahler enthalten	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung nach Separierung
06.03.01	Monitor-Alarm beim Öffnen einer gasdichten Transportverpackung	Undichter Kr 85-Strahler	Keine	Rückgabe des Strahlers an den Hersteller
08.03.01	Verlust eines Strahlers (Co-60 740 MBq) bei einer Luftfrachtlieferung aus dem Ausland an einen Gerätehersteller zwecks Entsorgung			Nachforschungen im Lieferland
08.03.01	Fund eines Prüfstrahlers (Cs-137 0,33 MBq)	Diebstahl	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
10.03.01	Fund von 2 Ionisationsrauchmeldern in einem Container eines Wertstoffhofes	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
13.03.01	Bestrahlung eines Prüfers bei Radiographiearbeiten (Ir-192 2,22 TBq) an einem Brückenbauwerk	Unkorrektes Verhalten des Prüfers	Ortsdosisleistung am Aufenthaltsort 13 µSv/h	Medizinische Untersuchung
19.03.01	Verlust einer Sonde mit Strahler (Cd-109 370 MBq) während des Transports	Fehlleitung oder Diebstahl	Gefährdungspotenzial gering	Polizeiliche Ermittlungen ergebnislos abgeschlossen
19.03.01	Fund eines mit Co-60 aktivierten Stahlteiles (375 µSv/h an Oberfläche) in einer Schrottanlieferung (Ausland) in einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung; ordnungsgemäße Entsorgung
26.03.01 u. 19.06.01	Verlust von insgesamt 3 Prüfstrahlern (2 Sr-90 je 37 MBq, 1 Ra-226 100 kBq) in einer Forschungseinrichtung	Unterlassene Kontrolle	Bei unsachgemäßer Handhabung der Sr-90-Strahler Hautschäden möglich	Aufsichtliche Anordnung
03.04.01	Auslieferung eines Strahlers (Co-60 148 MBq) in einem Abschirmbehälter mit geöffnetem Strahlenaustrittskanal	Fehlerhafte Endprüfung des Abschirmbehälters	Abschätzung der externen Strahlenexposition der Mitarbeiter des Lieferanten wie des Empfängers 0,1 mSv	Weitere Ursachenermittlung; konstruktive Änderungen am Verschlusshebel

noch Tabelle III.5

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
04.04.01	Fund radioaktiv kontaminierter Blechteile (Am-241, 0,17 µSv/h) in einem Schrottcontainer		Keine, da Dosisleistung gering	Separierung der Schrottladung, unbekannter Verbleib der vermutlich kontaminierten Restladung
04.04.01	Fund von 2 Strahlern (Kr-85 15 und 25 MBq) in einem Schrottcontainer	Unzulässige Entsorgung	Keine, da geringe Dosisleistung	Rückgabe der Strahler an den Hersteller zur Wiederverwertung
05.04.01	Erhöhte Ortsdosisleistung (126 µSv/h) an einem Pkw bei der Einreise	Radiographiegerät mit Ir-192 Strahler ohne Kennzeichnung als Gefahrguttransport	Keine	Weiterreise nach Deutschland nach Vorlage notwendiger Papiere und Kennzeichnung
19.04.01	Abgabe eines Gas-Chromatografen mit Strahler (Ni-63) von einer Firma zur Verschrottung	Unterlassene Kontrolle	Gefährdungspotenzial gering	Suchaktion beim Schrottverwerter ergebnislos
24.04.01	Fund radioaktiv markierter Messinstrumente und Schaltknöpfe (Ra-226) auf ehemaligem militärischen Gelände	Unterlassene Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
25.04.01	Fund eines Prüfstrahlers (Cs-137 156 kBq) in einem Müllcontainer	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung
27.04.01	Verschlussstörung bei einer endovasalen koronaren Behandlung mit einem Betabestrahlungsgerät	Schwache Batterie am manuellen Verschluss	Keine, Behandlung konnte ordnungsgemäß durchgeführt werden	Gerät wurde bis zur Reparatur stillgelegt
30.04.01	Einbruch in ein Museumsflugzeug und Zerstörung von Anzeigeinstrumenten mit radioaktiven Strahlern	Vandalismus	Prüfung noch nicht abgeschlossen	Überprüfung auf Kontamination, Renovierung des Flugzeugs
02.05.01	Fehlbestrahlung einer Patientin bei 20 Behandlungen mit doppelter Bestrahlungsdosis	Berechnungsfehler bei Bestrahlungsplanung	Exposition betrug 72 Gy (statt 36 Gy)	Behördliche Ermittlungen
04.05.01	Fund eines Strahlers (Tc-99m, 0,7 µSv/h an Fahrzeugwand) in einem Müllcontainer	Unzulässige Entsorgung mit dem Hausmüll	Keine	Abklingen auf dem Gelände der Müllverwertungsanlage
08.05.01	Fund von 18 Ionisationsrauchmeldern (Kr-85) bei Arbeiten in einer stillgelegten Industrieanlage	Unterlassene Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
08.05.01	Fund eines Ionisationsrauchmelders (Am-241 2,5 MBq) in einer Schrottlieferung aus dem Ausland	Unzulässige Entsorgung, unzulässiger Transport	Keine, Ortsdosisleistung in 10 cm Abstand ≤ 1,5 µSv/h	Separierung der Schrottteile, ordnungsgemäße Entsorgung

noch Tabelle III.5

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
09.05.01	Fund eines Kompasses im Schrottpressling (Ra-226 0,2 MBq, 10 µSv/h an Pressling-oberfläche)	Unzulässige Entsorgung	Keine; Kompass war unbeschädigt	Sicherstellung und ordnungsgemäße Entsorgung
11.05.01	Fund eines Strahlers (In-111, 3,1 µSv/h an Container-Oberfläche) in einem Presscontainer bei einer Müllverwertungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotenzial gering	Abklingen auf dem Gelände des Lieferanten
14.05.01	Verlust von 196 Seeds (I-125 4,14 GBq) bei der Beförderung mit dem Flugzeug (4 freigestellte Versandstücke)	Beförderung zum falschen Zielort	Unbekannt	Weltweit ausgelöste Suchmeldung
14.05.01	Fund eines Radiumemanators in einer Schrottlieferung	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
18.05.01	Fund eines Strahlers (Tc-99m, 1,5 µSv/h an Fahrzeugwand) in einem Müllfahrzeug	Unzulässige Entsorgung mit Hausmüll	Gefährdungspotenzial gering	Abklingen auf dem Gelände der Müllverwertungsanlage
19.05.01	Fund eines radioaktiven Gerätegehäuseteils (Ortsdosisleistung 12 µSv/h) bei einem Metallschrottverwerter	Unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotenzial gering	Ordnungsgemäße Entsorgung
06.06.01	Störung am Antrieb eines Patienten-Bestrahlungstisches in einer Klinik	Fehlerhafte Installation	Keine	Überprüfung aller Bestrahlungstische im Klinikum
06.06.01	Fund von zwei Schaltstäben aus Anzeigeinstrumenten (Ra-226 je 350 kBq) bei Routineuntersuchungen ehemaliger militärischer Liegenschaften	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung; ordnungsgemäße Entsorgung
08.06.01	Fund eines Strahlers Typ LAA (Cs-137 118 MBq) einer ehemaligen radiometrischen Messeinrichtung in einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung; Verlust bereits 1988 protokolliert	Keine; unbekannt für den Verlustzeitraum;	Sicherstellung, Recherchen zur Herkunft
13.06.01	Fund eines Strahlers (Co-60 2,96 MBq, 8,5 µSv/h an Container-Oberfläche) in einem gewerblichen Müllcontainer bei einer Müllverwertungsanlage	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
Juli 01	Überschreitung der zulässigen Personendosis einer Reinigungskraft in einer nuklearmedizinischen Therapiestation	Verstoß gegen Auflagen in der Genehmigung	Exposition der Reinigungskraft im Monat Juli 20 mSv (amtliche Dosimetrie); Rekonstruktion max. 1,3 mSv	Behördliche Recherchen, vermutlich missbräuchliche Exposition des Dosimeters

noch Tabelle III.5

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
Juli 01	Feststellung der Entwendung kontaminierter Materialien aus einer Wiederaufbereitungsanlage (Am-241, Pu-238,239,241, Cs-137)	Diebstahl	Kontamination von 2 Wohnungen und 3 Pkw; effektive Folgedosen für 3 Personen: 0,38 Sv; 5,51 Sv; 0,18 Sv	Umfangreiche Dekontamination; medizinische Behandlung; Strafverfolgung; Überprüfungsmaßnahmen für alle kerntechnischen Anlagen in Baden-Württemberg; spezielle Maßnahmen für betroffene Anlage
06.07.01	Fund von in Blei verpackten Prüfstrahlern (Co-60 max. 1 µSv/h) bei Aufräumarbeiten	Unzulässige Lagerung auf einem Grundstück	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
09.07.01	Verschlussstörung an einem Betabestrahlungsgerät bei einer medizinischen Routinebehandlung		Zusätzliche Exposition für den Patienten 3 Gy; keine Exposition des Personals	Rücksprache mit Hersteller und Überprüfung des Gerätes
10.07.01	Fund einer kontaminierten Metallpalette in einer Halle einer kerntechnischen Anlage		Keine	Weitere Behandlung im Kontrollbereich; Untersuchungskommission
12.07.01	Fund radioaktiv kontaminierter Blechteile in einem Container mit Flugzeugschrott während des Transports	Unzulässige Entsorgung von Flugzeugarmaturen	Keine, da geringe Dosisleistung	Separierung der kontaminierten Teile und ordnungsgemäße Entsorgung
23.07.01	Fund eines Strahlers (Sr-90 1 GBq) in einem Stahlschrottcontainer eines Abfallwirtschaftsbetriebes	Unzulässige Entsorgung	Keine, Strahler befand sich im Aufbewahrungsbehälter	Ordnungsgemäße Entsorgung; Polizeiliche Ermittlungen ergebnislos abgeschlossen
23.07.01	Fund eines Flugzeuginstrumentes (Ra-226 200 kBq, 23 µSv/h an Instrumentoberfläche) im Metallschrott bei einer Metallrecyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
25.07.01	Erwerb von 2 Radiumbechern (Ra-226, 3,0 MBq und 1,7 MBq) in einem Auktionshaus	Unzulässige Verbringung radioaktiver Stoffe	Strahlenexposition für 2 Personen ≤ 30 µSv	Ordnungsgemäße Entsorgung
27.07.01	Einschalten eines medizinischen Beschleunigers während des Aufenthalts eines Mitarbeiters im Bestrahlungsraum	Unachtsamkeit des Bedienpersonals	Keine; Strahlenexposition unterhalb der Nachweisgrenze (0,1 mSv)	Zusätzliche Belehrungen; Forderung des Einbaus eines technischen Personenüberwachungssystems
30.07.01	Unberechtigtes Öffnen eines Versandstückes (I-125 222 kBq) durch einen Spediteur	Unzulässiger Umgang mit korrekt deklariertem Versandstück	Keine	Rückgabe an den Hersteller

noch Tabelle III.5

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
03.08.01	Selbständige Bewegung eines Patientenlagertisches während des Frühchecks in einer Klinik	Beschädigung der Steuerelektronik durch Wasserschaden	Keine, da noch keine Patientenbestrahlung durchgeführt	Stilllegung bis zur Reparatur
06.08.01	Feststellung kontaminierter gepresster Schrotteile (8,5 µSv/h an Oberfläche) bei Schrottanlieferung (Ausland) in einem Stahlwerk	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung; ordnungsgemäße Entsorgung
10.08.01	Schneller Anstieg von Verschlusszeiten an Bestrahlungsanlage (Co-60 299 TBq)	Verschleißerscheinungen des innen liegenden Kugellagers	Keine, da rechtzeitig erkannt	Regelmäßige Messungen der Verschlusszeit (wöchentlich)
13.08.01	Fund eines Strahlers (Ra-226, 0,65 µSv/h an Container-Oberfläche) in einem Hausmüllcontainer bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
13.08.01	Fund kontaminierter gepresster Metallspäne (Ra-226 0,21 Bq/g, 27 µSv/h an Oberfläche eines Brockens) in einem Container bei einer Metallrecyclingfirma	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
21.08.01	Fund eines Strahlers (I-131, 2 µSv/h an der Fahrzeugwand) in einem Müllfahrzeug bei einer Müllverwertungsfirma	Unzulässige Entsorgung mit Hausmüll	Keine	Abklingen auf dem Gelände der Müllverwertungsanlage
24.08.01	Störung bei der Strahlerrückführung (Se-75 2,78 TBq) an einem Gammaradiographiegerät	Unsachgemäße Handhabung und Fehlfunktion der Strahlerhaltersicherung	Effektive Dosis von 0,1 mSv für Prüfer und Sachverständigen	Sofortige Unterstützung durch Sachverständigen bei Störfallbeseitigung; eingehende Überprüfung des Gerätes durch Sachverständigen; konstruktive Änderungen am Gerät und Konkretisierung der Bedienungsanleitung durch Hersteller
10.09.01	Sicherstellung von 1 kg Thoriumdioxid bei einer Giftmüllsammelstelle (Oberfläche 200 µSv/h)	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
11.09.01	Verbringung von 4 Fässern mit radioaktiven Abfällen (H-3, Pm-147) aus der Uhrenindustrie auf eine Deponie	Unzulässige Entsorgung		Behördliche Ermittlungen

noch Tabelle III.5

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
11.09.01	Fund eines Strahlers (Cs-137 55,5 MBq) einer radiometrischen Messeinrichtung im gesammelten Schrott	Unzulässige Entsorgung nach unsachgemäßer Demontage		Sicherstellung; ordnungsgemäße Entsorgung
13.09.01	Fehlerhaftes Einfahren der Strahler bei einer kardiovaskulären Therapie	Knick im Applikationskatheter durch zu enges Auslegen des Katheters	Berechnete Teilkörperdosis in 10 cm < 1 mSv, wenn Strahler außerhalb des Patienten	Prüfung des ausgelegten Katheters vor Einfahren des aktiven Strahlerzuges; Einsatz neuer Gerätegenerationen
14.09.01	Fund eines Strahlers (In-111 0,5 µSv/h an Containeroberfläche) in einem Presscontainer	Unzulässige Entsorgung	Keine	Rücktransport an Absender, Abklingen
15.09.01	Verlust von 80 Ionisationsrauchmeldern (Am-241 29,6 kBq) in einer Firma	Brand	Gefährdungspotenzial gering	Brandschutt ordnungsgemäß entsorgt
24.09.01	Hängenbleiben des Strahlers (Se-75) außerhalb der Abschirmung während Reparatur	Fertigungsabweichungen sicherheitsrelevanter Ersatzteile	Exposition des Mitarbeiters 0,3 mSv effektive Dosis	Untersuchung des betroffenen Mitarbeiters durch ermächtigten Arzt; Forderung von Eingangskontrollen, Verbesserung der Qualitätskontrolle bei Fertigung
05.10.01	Fund eines Strahlers (Tc-99m, 2 µSv/h an Fahrzeugwand) in einem Müllfahrzeug	Unzulässige Entsorgung	Keine	Abklingen auf dem Gelände des Müllverwertungsbetriebes
08.10.01	Verlust eines Ionisationsrauchmelders (Ra-226 2,2 kBq) bei Abrissarbeiten	Unachtsamkeit, unzulässige Entsorgung	Gefährdungspotenzial gering	Suche erfolglos
10.10.01	Demontage einer radiometrischen Messeinrichtung (Co-60 36 MBq) bei geöffnetem Strahlenkanal von einem Gerüst durch Mitarbeiter einer Fremdfirma	Unterlassene Einweisung, Missachtung des Strahlenwarnzeichens	Exposition der Mitarbeiter ca. 16 µSv (Rekonstruktion); da Sonde 5 Tage unbemerkt geöffnet blieb, geringe Exposition weiterer Mitarbeiter möglich	Untersuchung durch Betriebsarzt; Verbot zur Installation von Versuchsaufbauten an Gerüsten
17.10.01	Verlust eines Ionisationsrauchmelders (Am-241 30 kBq) nach Sanierungsarbeiten	Unzulässige Entsorgung mit Bauschutt	Keine	Information betroffener Behörde
17.10.01	Fund eines Strahlers (I-131, 12,3 µSv/h an Fahrzeugwand) in einem Müllcontainer	Unzulässige Entsorgung mit Hausmüll	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung

noch Tabelle III.5

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
23.10.01	Fund eines Strahlers (Cs-137 55 MBq) außerhalb der Abschirmung nach Anlieferung aus dem Ausland	Unzureichende Verpackung, Nichteinhalten von Transportvorschriften	Exposition eines Mitarbeiters: 0,1 mSv/h über 2 Minuten	Weitere Ursachenermittlung, Auswertung amtlicher Dosimeter
24.10.01	Fund eines Strahlers (I-131, 6,4 µSv/h an Fahrzeug) in einem Müllfahrzeug	Unzulässige Entsorgung mit Hausmüll	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
25.10.01	Feststellung erhöhter Dosisleistung nach Öffnen der Transportverpackung von 5 Strahlern (Kr-85 1,85 GBq)	Einer der Strahler war undicht	Keine	Sicherstellung; Rückgabe des undichten Strahlers an den Hersteller
25.10.01	Fund radioaktiv kontaminierter medizinischer Abfälle (In-111, 2,2 µSv/h an Containeraußenwand) in einem Müllcontainer einer Klinik	Unzulässige Entsorgung	Keine	Abklingen auf dem Gelände der Stadtreinigung
25.10.01	Fund eines radioaktiv markierten Drehzahlmessers (Ra-226 450 kBq) in einem Schrottcontainer	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung
07.11.01	Exposition einer Mitarbeiterin durch Herausfallen von 3 Seeds (Sr-90 je 1,48 MBq) aus dem Aufbewahrungsrohr während Dosimetriearbeiten beim Hersteller	Verklemmen eines Containers an Andockstelle	Konservative Abschätzung der Hautdosis 300 mSv; Auswertung von Film- und Fingerringdosimeter ergab < 0,1 mSv	Untersuchung durch ermächtigten Arzt; technische Änderungen der Anlage; Konkretisierung der Arbeitsanweisung, zusätzliche Belehrung des Personals
22.11.01	Feststellung einer Abweichung der Dosissymmetrie an einem medizinischen Beschleuniger bei jährlicher Qualitätskontrolle	Ausgleichsfilter außerhalb Sollposition; defektes Interlocksystem	Keine Patientenfehlbestrahlung	Behördliche Aufklärung
22.11.01	Aufenthalt eines Mitarbeiters im Bestrahlungsraum während einer Afterloading - Behandlung (Ir-192 270 GBq)	Unachtsamkeit des Bedienpersonals	Gering; effektive Dosis 0,2 µSv	Zusätzliche Belehrungen
27.11.01	Fund eines Strahlers (I-131, 0,25 µSv/h an Fahrzeugwand) in einem Müllfahrzeug	Unzulässige Entsorgung mit Hausmüll	Keine	
08.12.01	Verlust von zwei Sätzen Schulstrahlenquellen (Uranylnitrat, Am-241, Co-60, Na-22)	Diebstahl		Behördliche Maßnahmen; öffentliche Informationen
11.12.01	Fund von drei Fläschchen mit Aufschrift „Radioaktiv“ (I-125, Fe-55)	Unzulässige Entsorgung	Keine	Ordnungsgemäße Entsorgung

noch Tabelle III.5

Datum	Vorkommnis	Ursache	Folgen	Maßnahmen / Bemerkungen
13.12.01	Fund eines Strahlers (Ra-226, < 0,8 µSv/h an Fahrzeugwand) in einem Sperrmüllcontainer	Unzulässige Entsorgung	Keine	Sicherstellung; Vereinzelung und ordnungsgemäße Entsorgung
15.12.01	Fund von Versandstücken mit natürlichen Mineralien (Ra-226, 80 µSv/h an Versandstück) in einem Container	Falsche Auszeichnung der Versandstücke	Keine	Rücktransport zum Absender; Information zuständiger Behörden
18.12.01	Abriss einer Sonde (Cs-137 18,5 MBq) an einer Füllstandsmesseinrichtung	Beschädigung des Sondenschutzrohres durch Temperatureinfluss	Keine; Quelle unversehrt geborgen	Sicherstellung; Ursachenermittlung
21.12.01	Fund eines Strahlers (Tl-201 3,2 µSv/h an Fahrzeugwand) in einem Müllfahrzeug	Unzulässige Entsorgung mit Hausmüll	Keine	Abklingen auf dem Gelände des Müllverwertungsbetriebes
22.12.01	Fund von 3 Strahlern (Co-60 0,5 kBq; Cs-137 0,3 MBq; Ra-226 2,2 MBq) und einer Leuchtplakette (Ra-226 1,3 MBq) nach einem Wohnungsbrand	Unzulässiger Besitz radioaktiver Stoffe	Unbekannt; keine Kontaminationen bei den 3 Strahlern festgestellt	Sicherstellung; Dichtheitsprüfungen und ordnungsgemäße Entsorgung

IV. Strahlenexposition durch den Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl

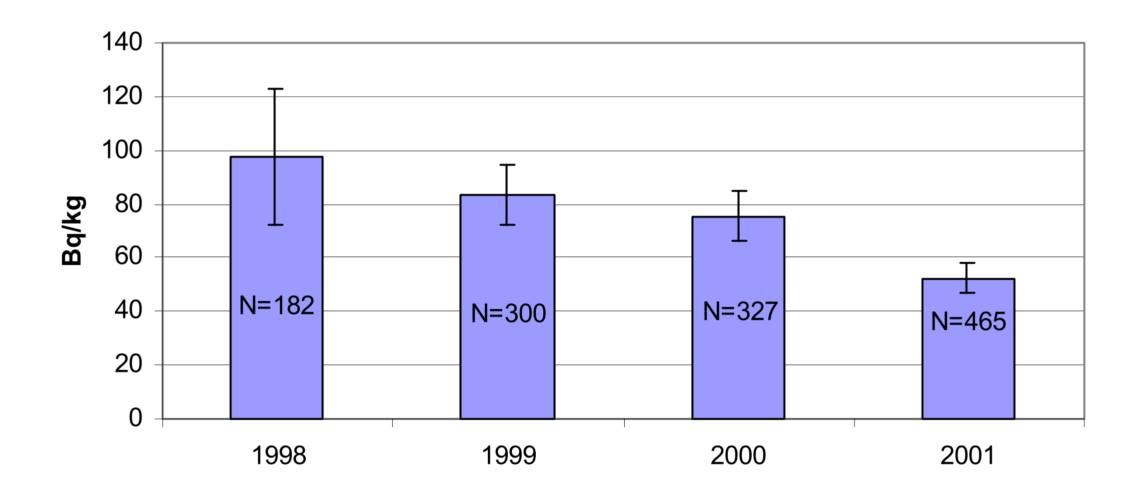
Die mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung durch den Reaktorunfall von Tschernobyl wurde 2001 fast ausschließlich durch die Bodenstrahlung des im Jahr 1986 deponierten Radiocäsium verursacht, andere Radionuklide spielen keine Rolle mehr. Auf Grund seiner physikalischen Halbwertszeit von 30 Jahren liegen noch 69% der 1986 deponierten Aktivität vor. Bei ausschließlicher Berücksichtigung des physikalischen Zerfalls nahm die äußere Strahlenexposition gegenüber dem Vorjahr um 2,3% ab. Unter Berücksichtigung von Abschirmeffekten durch den Boden sowie durch den Aufenthalt in Gebäuden ergibt sich eine mittlere effektive Dosis der Bevölkerung durch Bodenstrahlung von weniger als 0,01 mSv pro Jahr (zum Vergleich: 1986 0,07 mSv). Südlich der Donau und in einigen Gebieten des Bayerischen Waldes und Ostdeutschlands kann die Bodenstrahlung infolge örtlich und zeitlich begrenzter starker Regenfälle zur Zeit des Durchzugs der radioaktiven Wolke, die zu einer erhöhten Ablagerung des Radiocäsium am Boden geführt haben, um bis zu einer Größenordnung höher sein. Im Vergleich dazu beträgt die mittlere äußere Strahlenexposition durch terrestrische Strahlung ca. 0,4 mSv und durch kosmische Strahlung in Meereshöhe ca. 0,3 mSv pro Jahr.

Grundnahrungsmittel wie Milch, Gemüse, Getreide, Obst und Fleisch sind durch Radiocäsium aus dem Reaktorunfall nur noch geringfügig kontaminiert. Die Messwerte der Aktivitätskonzentration von Cäsium-137 liegen wie im Vorjahr in den meisten Fällen unter 1 Bq pro Kilogramm Frischmasse bzw. pro Liter. Im Durchschnitt wird mit der Gesamtnahrung eine Aktivität von ca. 0,3 Bq Cäsium-137 pro Tag zugeführt, woraus eine Ingestionsdosis von 0,001 mSv pro Jahr resultiert (zum Vergleich: 1986 0,04 mSv), die gegenüber der mittleren Strahlenexposition von ca. 0,3 mSv durch Ingestion natürlich radioaktiver Stoffe (Kalium-40, radioaktive Isotope von Uran und Thorium und deren Folgeprodukte) vernachlässigbar klein ist.

In Lebensmitteln aus Waldgebieten und vereinzelt auch bei Fischen aus Binnenseen sind weiterhin spezifische Cäsium-137-Aktivitäten von einigen hundert, in einigen Arten von Wildpilzen und in Wildfleisch bis zu einigen tausend Bq pro Kilogramm Frischmasse zu verzeichnen, weshalb besondere Ernährungsgewohnheiten Abweichungen von der durchschnittlichen Aktivitätszufuhr über Ingestion zur Folge haben können. Betroffen sind einige Regionen, die hohe Bodenkontaminationen an Cs-137 aufweisen. Abbildung IV.1 zeigt Durchschnittswerte der Kontamination von Haarwildfleisch für die letzten Jahre. In Waldökosystemen ist die Verweildauer von Radiocäsium und seine Verfügbarkeit für Pflanzen gegenüber landwirtschaftlich genutzten Böden stark erhöht. Ein Verzehr von z. B. 500 g eines Lebensmittels mit einer spezifischen Cs-137-Aktivität von 1000 Bq/kg führt zu einer effektiven Dosis von 0,007 mSv. Durch ein umfangreiches Messprogramm nach dem Strahlenschutzvorsorgegesetz, in dem jährlich mehrere tausend Lebensmittelproben auf ihren Radioaktivitätsgehalt untersucht werden, wird eine bundesweite Überwachung sichergestellt.

Abbildung IV.1

Kontamination von Haarwildfleisch in Deutschland (Daten aus IMIS, mit angegeben ist die Zahl der Proben und der mittlere Fehler des Mittelwertes)



Berichtsteil Nichtionisierende Strahlung

Strahlenschutz betrifft neben der ionisierenden Strahlung auch die sogenannte nichtionisierende Strahlung - damit ist die ultraviolette Strahlung und der große Bereich der elektromagnetischen Felder gemeint. Die wichtigste Möglichkeit zur Vermeidung schädlicher Wirkungen von natürlichen Strahlenquellen besteht darin, das persönliche Verhalten darauf einzustellen und Strahlenschutzempfehlungen zu befolgen.

Die moderne Technologieentwicklung zur Daten- und Informationsübertragung nutzt immer häufiger elektromagnetische Felder als Übertragungsmedien. Gleichzeitig ist an die Nutzung einer Vielzahl elektrotechnischer Einrichtungen und Geräte, von der Hochspannungsleitung bis zum Föhn, das Entstehen elektromagnetischer Felder zwangsläufig gekoppelt. Die Folge ist, dass es in technologisch hochentwickelten Gesellschaften in unterschiedlichen Frequenzbereichen zu einer wachsenden Verdichtung von elektromagnetischen Feldern kommt.

Die hohe Akzeptanz des Mobilfunks in der Bevölkerung und der damit verbundene rasante Ausbau der Mobilfunkinfrastruktur trägt dazu in besonderem Maße bei. Gleichzeitig regt sich immer häufiger Kritik am Ausbau der erforderlichen Infrastruktur in Form von Basisstationen. Der in Planung befindliche Ausbau der mit UMTS geschaffenen neuen Mobilfunkgeneration verstärkt die Befürchtungen vor einem immer dichter werdenden Netz von Funkanlagen, deren elektromagnetischen Felder sich der Einzelne in seinem Lebensumfeld nicht mehr entziehen kann.

Eine der wichtigsten Ursachen für die wachsende Kritik in der Bevölkerung ist die Sorge vor möglichen gesundheitlichen Schäden durch elektromagnetische Felder, die sowohl von den Basisstationen als auch von den Handys ausgehen. Die Bundesregierung nimmt diese Sorgen ernst. Ein verantwortlicher Umgang mit der Technologie erfordert jederzeit umfassende Informationen über die gesundheitlichen Wirkungen und die Funktionsweise dieser Technologie. Die Information der Bürgerinnen und Bürger ist in erster Linie Aufgabe derjenigen, die den Technologieausbau betreiben. Aber auch die Bundesregierung sieht sich hier in der Pflicht.

Sie hatte deshalb ausgehend von dem von ihr 1999 durchgeführten „Bürgerforum Elektrosmog" die Strahlenschutzkommission (SSK) mit einer erneuten umfassenden Bewertung der wissenschaftlichen Erkenntnisse zu den gesundheitlichen Wirkungen elektromagnetischer Felder beauftragt. Die SSK hat ihre Bewertung im September 2001 mit dem Ergebnis vorgelegt, dass das .gegenwärtige Grenzwertkonzept, bestehend aus Basisgrenzwerten sowie unter ungünstigen Expositionsbedingungen abgeleiteten Grenzwerten, geeignet und genug flexibel ist, um vor gesundheitlichen Beeinträchtigungen bei den im Alltag vorkommenden Expositionen zu schützen. Unabhängig davon hat sich die Bundesregierung dazu bekannt, auch im Bereich der elektromagnetischen Felder das Vorsorgeprinzip, wie es u. a. in den Mitteilungen der Kommission der Europäischen Gemeinschaften über die Anwendbarkeit des Vorsorgeprinzips vom 2. Februar 2000 niedergelegt ist, zur Richtschnur ihres politischen Handelns auf diesem Gebiet zu machen.

Die Bundesregierung bezieht in ihrer Bewertung der wissenschaftlichen Diskussionen die gesamte Bandbreite der vorliegenden wissenschaftlichen Erkenntnisse ein. Die Strahlenschutzkommission hat die o. a. Empfehlung zur Bewertung der wissenschaftlichen Erkenntnisse über die Wirkungen elektromagnetischer Felder u. a. auf der Grundlage zweier Fachgespräche unter breiter wissenschaftlicher Beteiligung vorgelegt.

Wesentliches Ergebnis der wissenschaftlichen Bewertung der SSK im Bereich der niederfrequenten Felder (insbesondere Felder der Energieversorgung) ist:

1. Auch nach Bewertung der neueren wissenschaftlichen Literatur in diesem Bereich gibt es keinen Nachweis für Gesundheitsbeeinträchtigungen unterhalb der gegenwärtig geltenden Grenzwerte.
2. Einzelne nationale und internationale Studien weisen allerdings Verdachtsmomente auf, wonach von elektromagnetischen Feldern auch erheblich unterhalb der geltenden Grenzwerte möglicherweise eine Krebsgefahr ausgehen könnte. Es handelt sich bei diesen Studien in allen Fällen um epidemiologische Studien. Bisher ist kein Wirkungsmechanismus bekannt, der einen Zusammenhang zwischen Krebserkrankungen und elektromagnetischen Feldern erklären könnte. Epidemiologische Untersuchungen können keinen kausalen Zusammenhang beweisen, sondern lediglich die Wahrscheinlichkeit des Eintritts einer Hypothese.

Wesentliches Ergebnis der wissenschaftlichen Bewertung der SSK für den Bereich der hochfrequenten elektromagnetischen Felder einschließlich des Mobilfunks ist:

1. Auch nach Bewertung der neueren wissenschaftlichen Literatur gibt es keinen Nachweis für Gesundheitsbeeinträchtigungen unterhalb der gegenwärtig geltenden Grenzwerte. Damit bestätigt die SSK, dass die geltenden Grenzwerte vor nachgewiesenen Gesundheitsgefahren ausreichend schützen.
2. In Bezug auf die Frage, ob es jenseits dieser Feststellung einen wissenschaftlichen begründeten Verdacht oder zumindest wissenschaftliche begründete Hinweise auf mögliche gesundheitliche Gefahren unterhalb der geltenden Grenzwerte gibt, erkennt die SSK in einzelnen Studien wissenschaftliche begründete Hinweise auf Gesundheitsbeeinträchtigungen. Sie stellt dazu aber fest, dass sich „auch unter Berücksichtigung des Umfangs und des Ausmaßes der Verdachtsmomente ein zusätzliches Risiko über die bisher bekannten gesundheitlichen Beeinträchtigungen hinaus nicht angeben lässt". Sie plädiert deshalb für weitere intensive Forschung. Die SSK verzichtet darauf, sich zur Einführung von Vorsorgewerten zu äußern, da aus ihrer Sicht das Risikomanagement einschließlich der Berücksichtigung der Risikoakzeptanz in der Bevölkerung in erster Linie in der Verantwortung der politischen Entscheidungsträger liegt.

Die SSK hat bei ihrer wissenschaftlichen Bewertung die Erkenntnisse u. a. zur Krebsentstehung und Krebsförderung, zur Erzeugung oder Förderung neurodegenerativer Erkrankungen und zur Beeinflussung des Hormonhaushaltes (Melatonin u. a.) berücksichtigt, unabhängig davon, bei welchen Feldstärken die Untersuchungen durchgeführt wurden, d. h. es wurden nicht nur die sogenannten thermischen Wirkungen, sondern auch die sogenannten nichtthermischen Wirkungen berücksichtigt.

Mit den im Folgenden dargestellten Maßnahmen wird die Bundesregierung die Forschung intensivieren, die Transparenz verbessern und ein Monitoring der Vorsorgemaßnahmen etablieren.

Besondere Verantwortung kommt dabei den Betreibern der Mobilfunknetze zu. Die Bundesregierung, begrüßt die freiwillige Selbstverpflichtung der Mobilfunkbetreiber vom 6. Dezember 2001. Sie sieht darin einen wesentlichen Beitrag der Betreiber, die Vorsorge im Bereich des Mobilfunks auf hohem Niveau weiter zu verstärken. Die Bundesregierung wird die zugesagten Maßnahmen regelmäßig überprüfen und bewerten.

Maßnahmen der Bundesregierung

1. Festhalten an geltenden Grenzwerten

Deutschland hat 1996 als erstes EU-Land rechtlich verbindliche Regelungen zur Begrenzung elektromagnetischer Felder geschaffen. Die geltenden Grenzwerte gewährleisten nach heutiger Kenntnis den Schutz der Bevölkerung vor nachgewiesenen Gesundheitsgefahren. Eine vom BMU veranlasste Prüfung der Strahlenschutzkommission über die Einführung von Vorsorgewerten nach dem „Schweizer Modell“ hat unterhalb der bestehenden Grenzwerte kein relevantes Risiko ergeben, so dass die Einführung von Vorsorgewerten zum gegenwärtigen Zeitpunkt wissenschaftlich nicht gerechtfertigt ist. Statt dessen erachtet es die SSK als notwendig, die Kenntnisse über mögliche gesundheitliche Beeinträchtigungen durch weitere Forschung zu verbessern.

2. Intensivierung der Forschung

Das Bundesumweltministerium wird die jährlichen Haushaltsmittel für die Wirkungsforschung deutlich erhöhen. Im Zeitraum 2002 bis 2005 stehen mehr als 8,5 Mio. € zur Verfügung.

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie wird im Zeitraum 2002 bis 2005 5 Mio. € für Forschungsarbeiten im Zusammenhang mit technischen Regulierungsfragen beim Aufbau der UMTS-Netze zur Verfügung stellen.

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung bereitet eine gezielte Initiative für die Förderung emissionsmindernder Technologien bei Mobilfunksystemen mit einem Volumen von 7 Mio. € im Zeitraum 2002 bis 2005 vor.

3. Einrichtung einer Datenbank zu den genehmigten Standorten von Mobilfunkanlagen

Die Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post wird die ihr zur Verfügung stehenden Daten von Sendeanlagen über eine zentrale Datenbank verfügbar machen.

4. Information der Öffentlichkeit über den aktuellen Stand der Wissenschaft

Die Bundesregierung wird ebenso wie die Betreiber zusätzliche Mittel für neue Initiativen zur Information der Öffentlichkeit über den jeweils aktuellen Stand des Wissens zur Verfügung stellen. Dies gilt insbesondere auch für die Information der Bevölkerung bei konkreten Vorhaben.

5. Selbstverpflichtung und Monitoring

Mit der am 6. Dezember 2001 vorgelegten freiwilligen Selbstverpflichtung haben sich die Betreiber zu Verbesserungen im Bereich Verbraucher-, Gesundheits- und Umweltschutz verpflichtet. Die Bundesregierung wird regelmäßig die Erfahrungen mit der Selbstverpflichtung bewerten.

Selbstverpflichtung der Mobilfunkbetreiber

Die freiwillige Selbstverpflichtung beinhaltet Maßnahmen in folgenden Bereichen:

1. Verbesserung der Information der Behörden vor Ort

- Offenlegung der Planungen durch halbjährliche Erörterung der Netzplanung unter Einbeziehung von Standortalternativen mit jeweils betroffenen Kommunen
- Unterrichtung der Kommunen und der Bürgerinnen und Bürger in Abstimmung mit den Kommunen über beabsichtigte Errichtung von Sendeanlagen
- parallele Errichtungsabsichtsanzeige an die Landesbehörden
- verbindliche Einbeziehung der Kommunen in die Standortwahl: Gelegenheit zur Stellungnahme innerhalb einer Frist von acht Wochen.

2. Gemeinsame Nutzung von Antennenstandorten

Gewährleistung eines schonenden Umgangs mit Ressourcen Landschaft und „Dach“ - in städtischen Gebieten Abstimmung mit den Kommunen.

3. Alternative Standortprüfung bei Kindergärten und Schulen

Ungeachtet der auch in diesen Bereichen durch die geltenden Grenzwerte gewährleisteten Sicherheit sind die Betreiber bereit, Besorgnissen durch vorrangige Prüfung alternativer Standorte verstärkt Rechnung zu tragen.

4. Verbraucherschutz und Kennzeichnung von Handys

- Verbraucherfreundliche und transparente Ausgestaltung der Kennzeichnung von Handys
- Einflussnahme auf Hersteller, verstärkt Handys mit geringem SAR-Wert auf den Markt zu bringen
- Einflussnahme auf die Hersteller, ein Qualitätssiegel für Handys mit besonders niedrigem SAR-Wert zu entwickeln
- Als Vertreiber von Handys werden die Mobilfunkbetreiber ihrerseits die o. g. Informationen geben und verstärkt Handys mit geringem SAR-Wert anbieten.

5. Verstärkte Forschung

Bereitstellung von 8,5 Mio. € im Zeitraum 2002 bis 2005 für die Forschungsförderung auf dem Gebiet elektromagnetischer Felder. Durch geeignete Vergabe und Managementverfahren wird sichergestellt, dass sich die Forschung hierbei an den von der WHO formulierten Kriterien für EMF-Forschungsprojekte orientiert.

6. Aufbau eines Netzes von EMF-Monitor-Systemen

Zum Aufbau eines Netzes fester und mobiler Messstationen zur kontinuierlichen Überprüfung der elektromagnetischen Felder stellen die Mobilfunkbetreiber einen Finanzbeitrag von 1,5 Mio. € zur Verfügung. Diese Messdaten über die tatsächlichen Immissionen liefern eine wichtige Grundlage für die Verbesserung des vorsorglichen Risikomanagements.

7. Monitoring

Die Betreiber werden die Bundesregierung mindestens einmal jährlich auf Basis eines unabhängigen Gutachtens über die Erfahrungen mit der Selbstverpflichtung informieren.

I. Niederfrequente Felder

Im Rahmen einer Studie, die im Zeitraum von Mai 1996 bis Juni 1997 zur „Erfassung der niederfrequenten magnetischen Exposition der Bürger in Bayern" im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen durchgeführt wurde, zeigte sich, dass bei 24 h Messungen für das magnetische Feld bei 50 Hz ein arithmetischer Mittelwert für alle untersuchten Personen von nur 0,101 Mikrotesla (µT) und ein Medianwert von nur 0,047 µT erreicht werden (s. Tab. I.1). Es ergab sich weiterhin, dass die nächtliche Exposition auffällig höher lag, wenn sich das Messgerät in unmittelbarer Nähe, z. B. eines Radioweckers befand. Aber auch in solchen Fällen wurde ein relativ geringer Medianwert von nur 0,146 µT erreicht (nicht in Tabelle I.1 aufgeführt).

Alle Werte liegen um Größenordnungen unterhalb der Grenzwerte der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (26. BImSchV: 100 µT für 50 Hz und 300 µT für 16 $^{2}/_{3}$ Hz). Überschreitungen der Grenzwerte wurden nur kurzzeitig, hauptsächlich während der Arbeit mit Maschinen beobachtet.

Im Jahr 2001 wurde eine im Auftrag des BMU vergebene epidemiologische Studie vorgestellt, die einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen einer erhöhten nächtlichen Magnetfeldexposition von > 0,4 µT bei 50 Hz und dem Auftreten von kindlicher Leukämie zeigte. Dieser Wert wurde in nur 0,6% der Fälle (3 von 514 in die Studie aufgenommene, an Leukämie erkrankte Kinder) und 0,2% der Kontrollen (3 von 1301 nicht erkrankter Kinder) erreicht. Falls eine erhöhte Magnetfeldexposition tatsächlich eine der möglichen Ursachen für diese Krankheit ist, könnte dieser Zusammenhang bei etwa 1% der kindlichen Leukämiefälle eine Rolle spielen. Allerdings ist anzumerken, dass bisher in keinem wissenschaftlichen Laborexperiment nachgewiesen werden konnte, dass magnetische Flussdichten unterhalb, bei oder oberhalb von 100 µT in Zellen oder bei Tieren einen Einfluss auf die Krebsentstehung allgemein und auf die Leukämierate im Besonderen haben.

Aus den Ergebnissen der Bayrischen Studie ergibt sich, dass die tatsächliche Exposition der Bevölkerung im Mittel unterhalb von 0,2 µT liegt, so dass eine dauerhafte Exposition in der Nacht mit 0,4 µT und mehr als selten anzunehmen ist. Die Ergebnisse dieser und anderer epidemiologischer Studien über einen möglichen Zusammenhang zwischen Krebs und einer Magnetfeldexposition sind jedoch als wissenschaftlich begründeter

Tabelle I.1

Magnetfeldexpositionen für die allgemeine Bevölkerung
(repräsentativ für die Siedlungsstruktur in Bayern) auf Grund der 50 Hz Stromversorgung

Magnetische Flussdichte in µT	Personen	Mittelwert µT	Median µT	95 % Perzentil µT
24-h-Exposition	1.952	0,101	0,047	0,308
Exposition im Haus	1.941	0,090	0,063	0,215
Exposition während der Nacht	1.926	0,095	0,092	0,144
Großstadt, 24 h	370	0,115	0,061	0,314
ländlich, 24 h	432	0,077	0,035	0,261
Einfamilienhaus	1.227	0,092	0,059	0,218
Hochhaus	51	0,097	0,076	0,116
24-h-Daten: im Büro Tätige	624	0,107	0,049	0,338
Handwerker/Arbeiter	148	0,166	0,049	0,628
nicht Erwerbstätige	922	0,093	0,046	0,258
direkte Nähe zu 16 $^{2}/_{3}$ Hz-Oberleitungen	190	0,156	0,102	0,436

Individuelle Personenmessung, arithmetischer Mittelwert über sekündliche Messungen, Median = 50 % Perzentil

Verdacht zu werten und erfordern eine intensive Suche nach möglichen Zusammenhängen.

II. Hochfrequente Felder

In der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV; gültig seit 1. Januar 1997) sind für Sendefunkanlagen mit einer Sendeleistung von 10 W EIRP (äquivalent isotroper Strahlungsleistung) oder mehr, die gewerblich betrieben werden und elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 10 MHz bis 300000 MHz erzeugen, die maximal zulässigen Feldstärkewerte festgelegt worden.

Die Einhaltung dieser Grenzwerte wird in einem Anzeigeverfahren zur Erteilung der Standortbescheinigung durch die Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (RegTP) nach telekommunikationsrechtlichen Vorschriften überprüft. 10% der im Rahmen des Bescheinigungsverfahrens neu erfassten Standorte werden einer stichprobenartigen Nachprüfung unterzogen. Es wird somit nicht nur vor der Inbetriebnahme, sondern auch während des Betriebes die Gewährleistung des Schutzes von Personen in elektromagnetischen Feldern überprüft. Nach Angaben der RegTP von Dezember 2001 wurden im Jahr 2000 1409 Nachüberprüfungen durchgeführt mit dem Ergebnis, dass an keinem Standort eine Überschreitung der Personenschutzgrenzwerte auftrat.

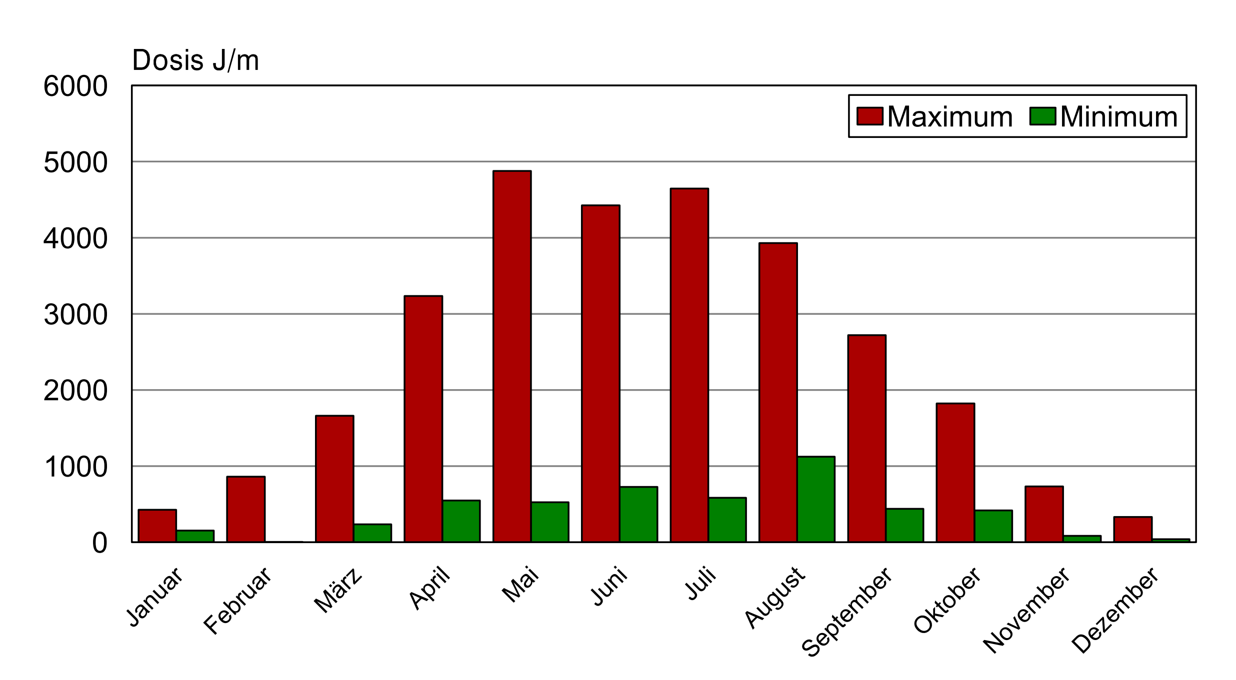
III. Solares UV-Monitoring

Um die ultraviolette (UV-)Strahlung der Sonne kontinuierlich erfassen und strahlenhygienisch bewerten zu können, wird vom Bundesamt für Strahlenschutz gemeinsam mit dem Umweltbundesamt und weiteren staatlichen und universitären Institutionen mit zurzeit neun repräsentativen Standorten in Deutschland die bodennahe solare UV-Strahlung kontinuierlich und spektral aufgelöst gemessen. Die Messdaten werden in der Messnetzzentrale in München strahlenhygienisch bewertet, dokumentiert und regelmäßig unter http://www.bfs.de veröffentlicht. In Abbildung III.1 werden die monatlichen maximalen und minimalen Tagessummen der erythemwirksamen Bestrahlung im Jahr 2001 für die Station München dargestellt. Im Mai 2001 wurde ein Wert von annähernd 5000 J/m^2 erreicht. Dies bedeutet, dass z.B. Menschen mit Hauttyp II, die ungeschützt bei einer Exposition von 250 J/m^2 einen Sonnenbrand bekommen, hier bereits bei einem Zwanzigstel der Tagesdosis gefährdet sind.

Eine statistische Auswertung der bisherigen Messdaten lässt auf einen leichten Anstieg der UV-Strahlung schließen, ein Ozon bedingter Effekt kann jedoch auf Grund der vielfältigen Einflussgrößen nicht sicher nachgewiesen werden.

Abbildung III.1

Maximale und minimale Tagessummen eines Monats der erythemwirksamen UV-Bestrahlung im Jahr 2001



IV. Aktuelle Themen

Das Thema „Elektrosmog" und dabei insbesondere die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen des Mobilfunks fanden im Jahr 2001 großes öffentliches Interesse.

Die Forschung zu den umstrittenen Fragen der Wirkungen elektromagnetischer Felder stand 2001 im Mittelpunkt eines Fachgesprächs des Bundesamtes für Strahlenschutz .

Das BMU hat beschlossen, dass die Forschung auf dem Gebiet verstärkt werden soll. Im Rahmen des Umweltforschungsplanes (UFO-Plan) werden für die Jahre 2002 bis 2005 vom Bundesamt für Strahlenschutz Forschungsvorhaben im Bereich Dosimetrie hochfrequenter elektromagnetischer Felder, biologischer Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf Zellen und Tiere, Einfluss dieser Felder auf den Verlauf von Krebs am Beispiel von Leukämie und epidemiologische Studien in Bezug auf elektrosensible Personen und Risikokommunikation vergeben.

Abgesehen vom Mobilfunk wurde in der Öffentlichkeit auch die Frage diskutiert, inwieweit hochfrequente elektromagnetische Strahlung Ursache für Krebserkrankungen von Bundeswehrsoldaten sein kann, die jahrelang militärische Radargeräte bedient und gewartet hatten. Bislang konnte eine genotoxische Wirkung der Hochfrequenzstrahlung nicht belegt werden, so dass ein Auslösen von Krebserkrankungen durch die von diesen Geräten ausgehenden Mikrowellen unwahrscheinlich ist. Bei sehr starken Radarsendern, wie sie z. B. in der Flugsicherung eingesetzt werden, wird im Inneren Röntgenstrahlung also ionisierende Strahlung erzeugt. Strahlenexpositionen, insbesondere in einer Höhe, die zur Auslösung einer Krebserkrankung führen können, sind bei diesen Störstrahlern möglich, wenn unter Missachtung einschlägiger Vorschriften bei geöffnetem Schutzgehäuse gearbeitet wird.

Anhang A:

Messgrößen der Umweltradioaktivität und der Strahlenbelastung

Die beiden wesentlichen Größen in diesem Bericht im Bereich der ionisierenden Strahlung sind das Becquerel und das Millisievert. In Becquerel (Bq) wird die „Menge“ an Radioaktivität in einem bestimmten Umweltmedium (Umweltradioaktivität) angegeben, in Millisievert (mSv) die sich daraus ergebende Strahlenbelastung des Menschen. Den Zusammenhang zwischen beiden Größen untersuchen die Radioökologie und die Dosimetrie; die größtmögliche Einschränkung der Strahlenbelastung ist Ziel des Strahlenschutzes.

Ein Becquerel pro Maßeinheit eines Umweltmediums – also z. B. pro Kubikmeter Luft, pro Liter Wasser oder pro Kilogramm - bedeutet, dass sich in der betrachteten Substanzmenge pro Sekunde ein Atom unter Abgabe von Strahlung in ein anderes umwandelt. Für die Strahlenbelastung (Dosis) ist wichtig, wo sich das Atom zum Zeitpunkt seines Zerfalls befindet (im Körper oder außerhalb) und welche Art von Strahlung (Alpha-, Beta- oder Gammastrahlung) es abgibt. Alphastrahlung hat eine hohe Schadenswirkung auf betroffene Körperzellen, aber nur eine geringe Reichweite von unter einem Millimeter. Alphastrahler müssen sich also im Körper befinden, um zu einer Strahlenbelastung zu führen. Das wichtigste Beispiel hierfür sind die Zerfallsprodukte des radioaktiven Edelgases Radon, die durch Ablagerungen in der menschlichen Lunge einen großen Teil der Strahlenbelastung des Menschen bewirken. Gammastrahlen haben demgegenüber eine Reichweite von mehreren Metern. Auf diese Weise können radioaktive Atome in der Umgebung zur Strahlenbelastung beitragen. Betastrahler liegen in ihrer Reichweite zwischen den beiden anderen Strahlenarten. Neben diesen Strahlenarten, die bei Atomumwandlungen entstehen, führen auch Röntgenstrahlen, die künstlich erzeugt werden, zu einer Strahlenbelastung.

Für viele Standardsituationen kann eine gegebene Radioaktivitätsmenge einfach in die sich ergebende Strahlenbelastung umgerechnet werden, indem man den Becquerel-Wert mit einem sog. Dosisfaktor multipliziert.

Im Dosisfaktor werden dabei verschiedene Wichtungen für die betroffenen Organe und die Strahlungsart berücksichtigt (siehe Anhang C „Strahlendosis und Strahlenwirkung“). Endergebnis dieser Berechnungen ist die Strahlenbelastung als effektive Dosis in Millisievert. Dadurch, dass dieser Wert entsprechend der Strahlenwirkung gewichtet ist und damit direkt einem bestimmten Risiko zugeordnet werden kann, lassen sich die effektiven Dosen aus verschiedenen Quellen zu einem Wert für die Gesamtstrahlenbelastung eines Menschen addieren. Auf der Ebene der Dosisbetrachtung können dann die Beiträge aus natürlichen, zivilisatorisch veränderten und zivilisatorischen Strahlenquellen verglichen werden.

Im vorliegenden Bericht ist zusätzlich eine Mittelung über die Gesamtbevölkerung durchgeführt worden. Da die einzelnen Komponenten - besonders die Exposition durch medizinische Maßnahmen und durch Radon - individuell sehr stark variieren, kann die individuelle Strahlenexposition auch deutlich höher oder deutlich geringer sein als der ausgewiesene Mittelwert über die Gesamtbevölkerung.

Nachfolgend sind die wichtigsten Messgrößen für nichtionisierende Strahlung aufgeführt:

Physikalische Größen für niederfrequente elektrische und magnetische Felder			
Elektrische Feldstärke	**E**	**V/m** (Volt pro Meter)	
Magnetische Feldstärke	**H**	**A/m** (Ampere pro Meter)	
Magnetische Flussdichte	**B**	**Vs/m²** (Voltsekunde pro Quadratmeter); **T** (Tesla) 1 Vs/m² = 1 T gebräuchlich: 1 µT Veraltet: G (Gauss)	$B = \mu \bullet H = \mu_0 \bullet \mu_r \bullet H$ für Luft und organische Materialien gilt: B (µT) = 1,256 • H (A/m) $1\ G = 10^{-4}\ T = 100\ \mu T$

Physikalische Größen für hochfrequente elektromagnetische Felder			
Elektrische Feldstärke Magnetische Feldstärke	**E** **H**	**V/m** (Volt pro Meter) **A/m** (Ampere pro Meter)	$E = Z_0 \bullet H$ dabei ist Z_0 der Feldwellenwiderstand des leeren Raumes mit 376,7 Ω (Ohm) = 376,7 V/A
Leistungsflussdichte	**S**	**W/m²** (Watt pro Quadratmeter)	$S = E \bullet H = Z_0 \bullet H^2 = E^2/Z_0$ (gilt im Fernfeld)
Spezifische Absorptionsrate	**SAR**	**W/kg** (Watt pro Kilogramm) gemittelt über 6 min Einwirkdauer und 10 g Gewebe	

Anhang B:

Erläuterung wichtiger Fachausdrücke

Aerosol	Gase mit festen oder flüssigen Schwebeteilchen
Aktivität	Anzahl der je Sekunde zerfallenden Atomkerne
Alphastrahler	Radionuklide, die Alphateilchen (Heliumatomkerne) aussenden
Anthropogen	durch den Menschen beeinflusst, verursacht
Äquivalentdosis	Produkt aus Energiedosis und einem u.a. von der Strahlenart abhängigen Strahlungs-Wichtungsfaktor (Dosisfaktor). Die Äquivalentdosis ist das Maß für die Wirkung einer ionisierenden Strahlung auf den Menschen
Becquerel	SI-Einheit der Aktivität. Die Aktivität von 1 Becquerel (Bq) liegt vor, wenn 1 Atomkern je Sekunde zerfällt. 1 Becquerel (Bq) = $2{,}7 \cdot 10^{-11}$ Curie
Betastrahlung	Teilchenstrahlung, die aus beim radioaktiven Zerfall von Atomkernen ausgesandten Elektronen oder Positronen besteht
Betasubmersion	Strahlenexposition durch Betastrahlung radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre
Brachytherapie	Behandlung von Erkrankungen durch in den Körper eingeführte bzw. auf den Körper aufgelegte Strahlenquellen
Computertomographie (CT)	Röntgenuntersuchung durch Darstellung als überlagerungsfreies Querschnittsbild
Dekontamination	Beseitigung oder Verminderung radioaktiver Verunreinigungen
Deterministisch	Nicht-stochastisch; deterministische Strahlenschäden sind solche, bei denen die Schwere des Schadens mit der Dosis zunimmt und in der Regel ein Schwellenwert besteht, z. B. Hautrötung, Augenlinsentrübung (siehe auch stochastisch)
Dosis	Siehe Energiedosis und Äquivalentdosis
Dosisfaktor	Im Dosisfaktor werden verschiedene Wichtungen für die betroffenen Organe und die Strahlungsart berücksichtigt
Effektive Dosis	Summe der gewichteten mittleren Äquivalentdosen in den einzelnen Organen und Geweben des Körpers. Der Wichtungsfaktor bestimmt sich aus den relativen Beiträgen der einzelnen Organe und Gewebe zum gesamten Strahlenrisiko des Menschen bei Ganzkörperbestrahlung
Elektrisches Feld	Zustand des Raumes um eine elektrische Ladung, der sich durch Kraftwirkungen auf andere elektrische Ladungen äußert
Elektrische Feldstärke	Maß für die Stärke und Richtung der Kraft auf eine Ladung im elektrischen Feld, dividiert durch die Ladung. Ihre Einheit ist Volt pro Meter (V/m)
Elektrische Ladung	Eigenschaft von Körpern, die darin besteht, dass eine Anziehungskraft zwischen den geladenen Körpern entsteht. Willkürlich unterscheidet man zwischen positiven und negativen elektrischen Ladungen. Ladungen mit gleichen Vorzeichen stoßen sich ab, jene mit ungleichen Vorzeichen ziehen sich an. Die Einheit ist Coulomb (C)
Elektrostatisches Feld	Elektrisches Feld, in dem keine elektrischen Ströme fließen
Energiedosis	Quotient aus der Energie, die durch ionisierende Strahlung auf das Material in einem Volumenelement übertragen wird, und der Masse in diesem Volumenelement
Fall-out	Aus der Atmosphäre auf die Erde in Form kleinster Teilchen abgelagertes radioaktives Material, das zum Beispiel bei Kernwaffenversuchen entstanden ist
Frequenz	Anzahl der Schwingungen in einer Sekunde. Die Einheit ist Hertz (Hz)

Gammastrahlung	Energiereiche elektromagnetische Strahlung, die bei der radioaktiven Umwandlung von Atomkernen oder bei Kernreaktionen auftreten kann
Gammasubmersion	Strahlenexposition durch Gammastrahlung von radioaktiven Aerosolen und Gasen in der Atmosphäre
Ganzkörperdosis	Mittelwert der Äquivalentdosis über Kopf, Rumpf, Oberarme und Oberschenkel als Folge einer als homogen angesehenen Bestrahlung des ganzen Körpers
Gray	SI-Einheit der Energiedosis. 1 Gray (Gy) = 1 Joule pro Kilogramm
Induktion	Vorgang, bei dem durch Änderung des von einem Leiter umschlossenen magnetischen Flusses elektrischer Strom (Wirbelstrom) in diesem Leiter erzeugt wird
Influenz	Vorgang, bei dem in einem Körper durch ein äußeres elektrisches Feld eine Ladungsumverteilung stattfindet, so dass an seiner Oberfläche lokal Überschüsse an positiven und an negativen elektrischen Ladungen auftreten
Ingestion	Allgemein: Nahrungsaufnahme Speziell: Aufnahme von radioaktiven Stoffen mit der Nahrung
Inhalation	Allgemein: Einatmung von Gasen Speziell: Aufnahme von radioaktiven Stoffen mit der Atemluft
Inkorporation	Allgemein: Aufnahme in den Körper Speziell: Aufnahme radioaktiver Stoffe in den menschlichen Körper
Interventionelle Radiologie	Verfahren, bei dem unter Durchleuchtungskontrolle Heilmaßnahmen, hauptsächlich die Aufdehnung verengter oder verschlossener Blutgefäße, durchgeführt werden.
Ionisierende Strahlen	Elektromagnetische- oder Teilchenstrahlen, welche die Bildung von Ionen bewirken können (z. B. Alphastrahlen, Betastrahlen, Gammastrahlen, Röntgenstrahlen)
Isotop	Atomart eines chemischen Elements mit gleichen chemischen Eigenschaften (gleicher Ordnungszahl), aber verschiedener Massenzahl
Kollektivdosis	Die Kollektivdosis ist das Produkt aus der Anzahl der Personen der exponierten Bevölkerungsgruppe und der mittleren Pro-Kopf-Dosis. Einheit der Kollektivdosis ist das Personen-Sievert
Kontamination	Speziell: Verunreinigung mit radioaktiven Stoffen
Kosmische Strahlung	Sehr energiereiche Strahlung aus dem Weltraum
Magnetfeld	Zustand des Raumes, der sich durch Kraftwirkungen auf magnetische Dipole (Magnetnadeln) äußert
Magnetische Feldstärke	Maß für die Stärke und Richtung des Magnetfeldes. Die Einheit ist Ampere pro Meter (A/m)
Magnetische Induktion	Magnetische Flussdichte; Maß für die Anzahl der magnetischen Feldlinien pro Fläche. Die Einheit ist Tesla (T)
Medianwert	Derjenige Messwert aus einer Reihe unterhalb und oberhalb dessen jeweils 50% der Messwerte liegen
nichtionisierende Strahlung	Elektrische und magnetische Felder sowie elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen von 100 nm und darüber, die in der Regel keine Bildung von Ionen bewirken können.
NIR	englisch „non ionizing radiation“ - Nichtionisiernede Strahlung
Nuklearmedizin	Anwendung radioaktiver Stoffe am Menschen zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken
Nuklid	Durch Protonenzahl (Ordnungszahl) und Massenzahl charakterisierte Atomart

Organdosis	Mittelwert der Äquivalentdosis über ein Organ
Ortsdosis	Äquivalentdosis für Weichteilgewebe, gemessen an einem bestimmten Ort
Ortsdosisleistung	Ortsdosis pro Zeitintervall
Perzentil	statistischer Wert, der von einem bestimmten Prozentsatz der Messergebnisse einer Stichprobe eingehalten wird (z.B. 95 % Perzentil ist der Wert, der von nur 5 % der Stichprobe überschritten wird)
Radioaktive Stoffe	Stoffe, die ionisierende Strahlen spontan aussenden
Radioaktivität	Eigenschaft bestimmter chemischer Elemente bzw. Nuklide, ohne äußere Einwirkung Teilchen- oder Gammastrahlung aus dem Atomkern auszusenden
Radiojod	Radioaktive Jodisotope
Radionuklide	Instabile Nuklide, die unter Aussendung von Strahlung in andere Nuklide zerfallen
Sendeleistung	Die von einer Antenne abgestrahlte elektrische Leistung
Si-Einheiten	Einheiten des Internationalen Einheitensystems (SI). Die Anwendung der Einheiten im Strahlenschutzmesswesen ist durch die Ausführungsverordnung zum Gesetz über Einheiten im Messwesen vom 13.12.1985 (BGBl.I S.2272) geregelt
Sievert	SI-Einheit der Äquivalentdosis und der effektiven Dosis 1 Sievert (Sv) = 100 Rem, 1 Sievert = 1 000 Millisievert (mSv) = 1 000 000 Mikrosievert (µSv)
Spezifische Absorptionsrate (SAR)	Die auf die Masse eines Körpers bezogene absorbierte Strahlungsleistung (Energie). Die Einheit ist Watt pro Kilogramm (W/kg)
Stochastisch	Zufallsbedingt; stochastische Strahlenschäden sind solche, bei denen die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von der Dosis abhängt, nicht jedoch deren Schwere (siehe auch deterministisch)
Strahlenbelastung	Siehe Strahlenexposition
Strahlenexposition	Einwirkung ionisierender oder nichtionisierender Strahlen auf den menschlichen Körper oder Körperteile
Teletherapie	Behandlung von Erkrankungen durch Bestrahlung des Körpers von außen
Terrestrische Strahlung	Strahlung der natürlich radioaktiven Stoffe, die überall auf der Erde vorhanden sind
Tritium	Radioaktives Isotop des Wasserstoffs, das Betastrahlung sehr niedriger Energie aussendet
UV-Index	Tageshöchstwerte der „sonnenbrandwirksamen" UV-Strahlung

Anhang C:

Strahlendosis und Strahlenwirkung

(Quelle: In Anlehnung an die Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 14)

1. Strahlendosis und ihre Einheiten

Beim radioaktiven Zerfall von instabilen Nukliden werden energiereiche Teilchen emittiert. Bei Radionukliden, die aus kerntechnischen Anlagen freigesetzt werden, sind dies vor allem Alpha- und Betateilchen sowie die Photonen der Gammastrahlung. Durch Photoeffekt, Comptoneffekt und Paarbildung erzeugen Photonen im bestrahlten Material energiereiche Elektronen und Positronen. Beim Durchgang der elektrisch geladenen Teilchen (Alpha- und Betateilchen) durch Materie wird die kinetische Energie der Teilchen diskontinuierlich in vielen Teilbeträgen auf die Materie übertragen. Es kommt dabei zur Ionisation und Anregung von Molekülen und als deren Folge zur Radikalbildung. Die Dichte dieser Ionisations- und Anregungsereignisse längs der Teilchenbahn hängt von Strahlenart und Strahlenenergie ab. Man unterscheidet daher locker ionisierende Strahlungen (z. B. Beta- und Gammastrahlung) und dicht ionisierende Strahlung (z. B. Alphateilchen). Die in Wasser als Referenzmaterial längs eines kurzen Teilstücks der Teilchenbahn durch Ionisation und Anregung auf die Materie übertragene Energie, dividiert durch die Länge dieses Wegstückes, wird als linearer Energietransfer (LET) bezeichnet.

Da Ionisations- und Anregungsprozesse zu molekularen Veränderungen führen, die den Ausgangspunkt für die Entwicklung biologischer Strahlenwirkungen bilden, bezieht sich der für ionisierende Strahlungen geltende Dosisbegriff auf die Energiedeposition in Materie durch Ionisation und Anregung. Die Energiedosis ist definiert als die in einem kleinen Volumenelement auf die Materie übertragene Energie, dividiert durch die Masse dieses Volumenelementes. Die verwendete Dosiseinheit ist das Gray (Gy), es entspricht einer Energieabsorption von einem Joule pro Kilogramm, z. B. einem Kilogramm Gewebe. Früher wurde für die Energiedosis das Rad (rd) als Dosiseinheit benutzt; 1 Gy ist gleich 100 rd. Zur quantitativen Dosisangabe bei strahlenbiologischen Dosiswirkungsbeziehungen dient die Energiedosis.

Schon relativ frühzeitig wurde allerdings erkannt, dass das Ausmaß einer biologischen Strahlenwirkung nicht alleine von der Energiedosis abhängt. Beim Vergleich verschiedener Strahlenarten miteinander zeigte sich, dass ionisierende Strahlen mit hohem LET (dicht ionisierende Strahlen, z. B. Alphateilchen) wesentlich wirksamer sein können als ionisierende Strahlen mit niedrigem LET (locker ionisierende Strahlen, z. B. Beta- und Gammastrahlung) bei gleicher Energiedosis. Für die Abschätzung von Strahlenrisiken, für Grenzwertfestlegungen und für Strahlenschutzmessungen erschien es daher notwendig, neben der Energiedosis auch die Strahlenqualität, d. h. die Strahlenart und -energie, zu berücksichtigen. Der lineare Energietransfer gilt vereinbarungsgemäß als physikalische Kenngröße der Strahlenqualität. Er kennzeichnet die vom Dosisbegriff nicht erfasste Konzentration der auf die Materie übertragenen Energie längs der Teilchenbahnen. Aus diesen Gründen ist neben der Energiedosis D die Äquivalentdosis H für Strahlenschutzzwecke eingeführt worden. Die Äquivalentdosis ergibt sich aus der gemessenen oder berechneten Energiedosis durch Multiplikation mit einem von der Strahlenqualität abhängigen Strahlungs-Wichtungsfaktor w.

$$H = w \cdot D$$

Der Strahlungs-Wichtungsfaktor w berücksichtigt die Unterschiede des biologischen Risikos bei den verschiedenen Strahlenqualitäten.

Zur Festlegung der Strahlungs-Wichtungsfaktoren für die einzelnen Strahlenqualitäten sind experimentelle biologische Daten und klinische Erfahrungen zusammengefasst worden. Um einen exakten Vergleich der biologischen Wirkungen bei verschiedenen Strahlenqualitäten vorzunehmen, wird zunächst die relative biologische Wirksamkeit (RBW) bestimmt. Die RBW ist definiert als der Quotient aus der Energiedosis einer Referenzstrahlung (D_{Ref}) und der Energiedosis der zu untersuchenden Strahlenqualität (D_{Test}), wobei in den Quotienten diejenigen Strahlendosen eingesetzt werden, die das gleiche Ausmaß der untersuchten biologischen Wirkung herbeiführen.

$$RBW = \frac{D_{Ref}}{D_{Test}} \text{ (bei gleicher biologischer Wirkung)}$$

Die Untersuchung der relativen biologischen Wirksamkeit hat ergeben, dass die resultierenden RBW-Werte nicht nur von der Strahlenqualität abhängig sind, sondern auch von dem gemessenen biologischen Endpunkt (z. B. Zelltod, Tumorbildung, Chromosomenschaden usw.), sowie von der Strahlendosis und anderen Faktoren. Ein biologisch exakt gemessener RBW-Wert gilt daher nur für sehr gut definierte experimentelle Bedingungen. Unter verschiedenen Bedingungen können bei gegebener Strahlenqualität auch unterschiedliche RBW-Werte resultieren.

Für den praktischen Strahlenschutz sind aus diesen Gründen die gemessenen RBW-Werte nicht unmittelbar verwendbar, sondern man hat auf der Grundlage der experimentellen RBW-Werte für die einzelnen Strahlenqualitäten Strahlungs-Wichtungsfaktoren w zur Ermittlung der Äquivalentdosis festgelegt. Sie beziehen sich ebenso wie die RBW-Werte auf harte Röntgenstrahlung als Referenzstrahlung. Die Zahlenwerte der Strahlungs-Wichtungsfaktoren orientieren sich aus Sicherheitsgründen am oberen Wertebereich der experimentell erhaltenen RBW-Werte für die jeweilige Strahlenqualität. Nach der Strahlenschutzverordnung gilt für die Berechnung der Äquivalentdosis der in Anlage VI der Verordnung angegebene LET-abhängige Strahlungs-Wichtungsfaktor w(L), der je nach Strahlenqualität Werte zwischen 1 und 20 besitzt.

Die Einheit für die Äquivalentdosis ist heute das Sievert (Sv), früher wurde die Äquivalentdosis in Rem (rem) angegeben. Es gilt 1 Sv = 100 rem. Beispiel: D = 0,1 mGy; w = 20; H = 2 mSv.

2. Äußere und innere Bestrahlung

Bei einer Bestrahlung von außen (die Strahlenquelle befindet sich außerhalb des Organismus, externe Bestrahlung) ist die Eindringtiefe der verschiedenen Strahlenqualitäten in das menschliche Gewebe sehr unterschiedlich. Gammastrahlung hat wie Röntgenstrahlung die Fähigkeit, den gesamten Körper zu durchdringen und ihn mit geschwächter Intensität wieder zu verlassen, während Alpha- und Betateilchen relativ zu den Körperdimensionen nur eine geringe Eindringtiefe besitzen. Bei Alphastrahlung ist die Eindringtiefe so gering, dass nur die äußere Zellschicht der Haut betroffen ist. Die Keimschicht der Haut (stratum germativum), in der die Zellerneuerung stattfindet, liegt bei äußerer Alphabestrahlung bereits außerhalb der Reichweite der Alphateilchen. Bei Betastrahlung liegt die Eindringtiefe im Gewebe im Bereich von einigen Millimetern, so dass es bei einer Bestrahlung von außen bei relativ hohen Strahlendosen beispielsweise zu Hautschäden und Schäden der Augenlinse, aber nicht zu Schäden in tiefer gelegenen Geweben kommen kann. Bei niedrigen Strahlendosen ist die Bestrahlung durch Alpha- und Betastrahlung von außen für das Strahlenrisiko ohne Bedeutung. Radionuklide, bei deren Zerfall Alpha- bzw. Betastrahlung entsteht, sind jedoch dann für das Strahlenrisiko relevant, wenn sie mit der Nahrung, dem Trinkwasser oder durch Atmung dem Körper zugeführt werden und die Bestrahlung von innen erfolgt. Zur Bestimmung der Strahlendosis ist es bei einer Inkorporation der radioaktiven Stoffe notwendig, die Verteilung der Radionuklide und ihre Verweildauer im Organismus und in einzelnen Organen sowie Geweben genau zu kennen. Die Biokinetik, die sich vor allem aus dem Stoffwechselverhalten und anderen biologischen Vorgängen ergibt, muss bei der Dosisabschätzung für die Strahlenexposition von innen berücksichtigt werden. Neben zahlreichen, u.a. altersabhängigen biokinetischen Parametern gehen in die Dosisermittlung die physikalischen Eigenschaften der Strahlung und die physikalischen Halbwertszeiten der Radionuklide ein.

Radionuklide mit einer langen physikalischen Halbwertszeit und einer zusätzlich langen Verweildauer im Organismus (lange biologische Halbwertszeit) tragen nach einer Inkorporation über eine entsprechend lange Zeit zur Strahlendosis bei. Daher wird bei der Berechnung der Strahlendosis nach Inkorporation derartiger Radionuklide die 50-Jahre-Folgedosis (70-Jahre-Folgedosis bei Kindern) ermittelt. Das bedeutet, dass bei der Festlegung des Dosisfaktors die Dosisleistung (Strahlendosis in einem Zeitintervall, dividiert durch dieses Zeitintervall) über die auf die Inkorporation folgenden 50 Jahre (bzw. 70 Jahre) integriert (aufsummiert) wird. Unter diesen Prämissen sind Dosisfaktoren für die verschiedenen Inkorporationswege (z. B. Ingestion und Inhalation) sowie für verschiedene chemische Formen der inkorporierten Radionuklide (z. B. löslich und unlöslich) abgeschätzt worden.

Die Aktivität einer radioaktiven Substanz ist die Anzahl der spontanen Kernumwandlungen in einem kurzen Zeitintervall, dividiert durch dieses Zeitintervall. Sie wird in Becquerel (Bq) angegeben. Die Anzahl der Becquerel bezeichnet die Anzahl der spontanen Kernumwandlungen je Sekunde. Die frühere Einheit ist das Curie (Ci). 1 Ci ist gleich $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Bq. Kenngröße für die Exposition von innen ist der Dosisfaktor, d. h. der Quotient aus der in einem bestimmten Gewebe oder Organ erzeugten Äquivalentdosis und der dem Körper zugeführten Aktivität eines bestimmten Radionuklids, gemessen in Sievert pro Becquerel (Sv/Bq). Durch Multiplikation des Dosisfaktors mit der Aktivität des aufgenommenen Radionuklids wird die Äquivalentdosis errechnet.

Die Konzentration der Ionisations- und Anregungsprozesse ionisierender Teilchen auf den Nahbereich der Teilchenbahnen (s. Kennzeichnung der Strahlenqualität durch den linearen Energietransfer) hat bei mikroskopischer Betrachtungsweise auch die Bedeutung einer von Zelle zu Zelle statistisch variierenden Anzahl der Teilchendurchgänge; die Energiedosis gibt nur den räumlichen Mittelwert der massebezogenen Energiedeposition an. Bei einer Energiedosis von 10 mGy erfährt z. B. nur einer unter ca. 40 Zellkernen des Querschnitts 60 μm^2 den Durchgang eines Alphateilchens der Anfangsenergie 5 MeV. Erst bei wesentlich höheren Dosen - für Alphateilchen bei etwa 50 mGy - kommt es ebenso oft vor, dass ein Zellkern von einem bzw. von zwei oder mehr Alphateilchen getroffen wird, aber auch bei dieser Dosis ereignet sich in etwa 30 % aller Zellkerne kein Teilchendurchgang. Bei locker ionisierender Strahlung erfahren in diesem Dosisbereich bereits alle Zellkerne eine annähernd gleiche Anzahl von Teilchendurchgängen.

Mit abnehmender Dosis kommt man also in einen Bereich, in dem nicht mehr alle, sondern nur noch einzelne Zellen und Zellkerne (Durchmesser des Kernes einer menschlichen Zelle: etwa 8 µm) von einem Teilchendurchgang betroffen werden. Die Zahl der dann noch getroffenen Zellkerne nimmt bei weiterer Erniedrigung der Strahlendosis proportional zu dieser ab. Der Dosisbereich, in dem diese inhomogene Verteilung der Teilchendurchgänge aufzutreten beginnt, ist von der Strahlenqualität abhängig. Bei Strahlung mit niedrigem LET liegt er tiefer als bei Strahlung mit hohem LET. So tritt dieses Phänomen bei Röntgen- und Gammastrahlung im Dosisbereich unterhalb etwa 3 mGy und bei 14 MeV Neutronen unterhalb etwa 50 mGy auf. Bei Alphastrahlung (z. B. nach Zerfall von Plutonium-239) erstreckt sich der Bereich der vereinzelten Teilchendurchgänge zu noch höheren Dosen. Bei inkorporierten Radionukliden, die an Partikel (Aerosole) gebunden sind oder in Zellen durch Phagozytose akkumuliert sind, kann in der unmittelbaren Nachbarschaft eine zusätzliche Inhomogenität der mikroskopischen Dosisverteilung auftreten. Diese Bedingungen sind bei Radionukliden, die bei ihrem Zerfall Alphateilchen emittieren, von besonderer Relevanz (hot particles).

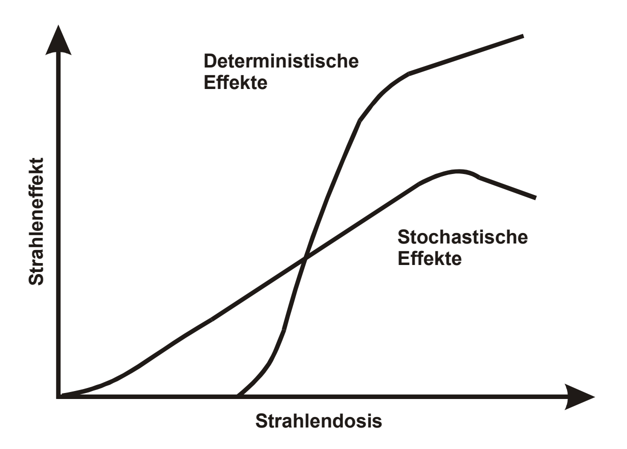
3. Stochastische und deterministische Strahlenwirkung

Im Strahlenschutz werden stochastische und deterministische Strahlenwirkungen unterschieden. Beide Kategorien von Schadenstypen haben grundsätzlich verschiedene Dosiswirkungsbeziehungen. Bei den deterministischen

Strahlenwirkungen muss zunächst eine Schwellendosis überschritten werden, bevor die beschriebenen Effekte induziert werden können (Abb. A-1). Oberhalb der Schwellendosis steigt die Zahl der Defekte und der Schweregrad des Effektes mit steigender Dosis an. Der Entwicklung dieser Strahlenschäden liegt ein multizellulärer Mechanismus zugrunde. Es müssen viele Zellen geschädigt werden, damit es zu einer Manifestation derartiger Effekte kommt. Zu diesen Strahlenwirkungen zählen alle akuten Strahleneffekte, die Linsentrübung (Katarakt) und die Entwicklung von fibrotischen Prozessen in verschiedenen Geweben.

Bei einem zweiten Typ von Strahlenwirkungen, den stochastischen Effekten, wird davon ausgegangen, dass keine Schwellendosis besteht und dass die Wahrscheinlichkeit des Eintretens mit steigender Strahlendosis zunimmt. Auch bei kleinen Strahlendosen können also Wirkungen auftreten, wenn auch mit geringerer Wahrscheinlichkeit als bei höheren Dosen (Abb. C-1). Für den Strahlenschutz

Abbildung C-1



sind die stochastischen Strahlenwirkungen daher von entscheidender Bedeutung. Ihr Auftreten unterliegt einer Zufallsverteilung, d. h. in einem Kollektiv gleich exponierter Personen werden sie mit einer durch den statistischen Erwartungswert angenähert voraussagbaren Häufigkeit beobachtet. Als „Risiko“ wird im Strahlenschutz die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer stochastischen Strahlenwirkung bei der Einzelperson bezeichnet; den Quotienten Risiko/Äquivalentdosis nennt man „Risikokoeffizient“.

Zu dieser Kategorie von Strahlenwirkungen zählen die Induktion von vererbbaren Defekten und von malignen Erkrankungen (Leukämie und Krebs). Man geht davon aus, dass es sich hier um unizelluläre Prozesse handelt. Bei den vererbbaren Defekten muss nur eine Keimzelle geschädigt werden, damit es nach deren Beteiligung an einer erfolgreichen Befruchtung zu einer Mutation in der Folgegeneration kommt. Bei der Induktion von Leukämie und Krebs wird angenommen, dass die maligne Transformation einer Zelle ausreichend ist, um eine derartige Erkrankung zu verursachen. Man geht also davon aus, dass Leukämie oder Krebs mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit durch eine einzige maligne transformierte Zelle hervorgerufen werden können (monoklonaler Ursprung).

4. Genetisch vererbbare Defekte

Beim Menschen sind bisher keine genetischen Mutationen durch ionisierende Strahlen beobachtet worden, die zu einer quantitativen Abschätzung des genetischen Strahlenrisikos führen können. Auch bei Untersuchungen von Nachkommen der Überlebenden nach den Atombombenabwürfen in Hiroshima und Nagasaki sind bisher derartige Effekte nicht statistisch signifikant nachgewiesen worden. Bei der Untersuchung von mehr als 70.000 Kindern, deren Väter oder Mütter bzw. beide Elternteile bei den Atombombenabwürfen in Hiroshima und Nagasaki exponiert worden sind, wurde ein statistisch nicht ausreichend gesicherter Trend zu erhöhten Raten an genetischen Mutationen festgestellt.

Die quantitative Abschätzung des Strahlenrisikos beruht daher auf tierexperimentellen Untersuchungen, die vor allem an Mäusen durchgeführt worden sind. Bei diesen Untersuchungen werden lokale Bestrahlungen der Gonaden vorgenommen und nach Möglichkeit leicht diagnostizierbare Merkmale wie die Fellfarbe, Form der Ohren, Form des Schwanzes, die Bildung von Katarakten usw. analysiert. Diesen Veränderungen liegen dominante, aber auch rezessive Mutationen zugrunde. Es werden sehr häufig lineare Dosiswirkungsbeziehungen für diese Effekte ermittelt, so dass aus der Steigung derartiger Dosiswirkungsbeziehungen die Mutationsrate pro Gray bzw. Sievert errechnet werden kann.

Die Versuchsergebnisse an Mäusen sind in überwiegendem Maße nach Strahlendosen im Bereich von 1 Gy und höher gewonnen worden, im Allgemeinen hat eine Bestrahlung mit hoher Dosisleistung (z. B. 0,1 Gy pro Tag) stattgefunden. Um diese Versuchsergebnisse für die Abschätzung des Strahlenrisikos beim Menschen verwenden zu können, sind zwei Annahmen notwendig:

1. Bei locker ionisierenden Strahlen und relativ kleinen Dosen und Dosisleistungen besteht zwischen Dosis und Zahl der induzierten Mutationen eine lineare Dosiswirkungsbeziehung ohne Schwellenwert. Diese Form der Dosiswirkungsbeziehung ist bereits bei den stochastischen Strahlenwirkungen besprochen worden.
2. Die Mutationshäufigkeit pro Locus in Keimzellen des Menschen und der Maus ist nach identischen Bestrahlungsbedingungen und Strahlendosen etwa gleich groß.

Auf Grund der vorhandenen Erkenntnisse über den Wirkungsmechanismus ionisierender Strahlung und der Entstehung der Mutationen in Keimzellen, die zu vererbbaren Defekten führen, steht es in der wissenschaftlichen Diskussion heute weitgehend außer Zweifel, dass eine Dosiswirkungsbeziehung ohne Schwellendosis existiert und damit auch bei niedrigen Dosen und niedriger Dosisleistung mit entsprechend geringer Wahrscheinlichkeit Mutationen auftreten können. Es ist gezeigt worden, dass bei einer chronischen Bestrahlung über 300 Tage mit Gammastrahlen und einer Dosisleistung von 0,01 Gy pro Tag, ebenso wie nach einer fraktionierten Bestrahlung

von 0,1 Gy pro Tag über 60 Tage, Mutationen bei Mäusen induziert werden können.

5. Induktion von Leukämie und Krebs

Während für die Abschätzung des genetischen Strahlenrisikos keine ausreichenden Erfahrungen beim Menschen vorliegen, kann man für die Abschätzung des Leukämie- und Krebsrisikos auf eine Vielzahl von Daten aus epidemiologischen Untersuchungen beim Menschen zurückgreifen. In Betracht kommen hierfür vor allem Untersuchungen an

- Überlebenden nach den Atombombenabwürfen in Hiroshima und Nagasaki,
- Personen nach beruflichen Strahlenexpositionen,
- Patienten mit medizinischen Strahlenexpositionen,
- Personen mit Strahlenbelastung durch die Tschernobyl-Katastrophe.

Da eine strahlenbedingte maligne Erkrankung sich nicht von einer „spontanen“ malignen Erkrankung unterscheidet, können Leukämie oder Krebs im Einzelfall nicht allein auf Grund ihrer Erscheinungsform oder ihres klinischen Verlaufes als strahlenbedingte Erkrankung erkannt werden. Nur epidemiologisch-statistische Untersuchungen können dazu beitragen, quantitative Daten für die Risikoabschätzung beim Menschen zu erhalten. Strahlenexponierte Personengruppen müssen dabei nicht-exponierten Personengruppen gegenübergestellt werden. Dann kann erkannt werden, ob und in welchem Ausmaß die Raten an Leukämie und Krebs nach Bestrahlung in der exponierten Gruppe erhöht sind. Auch hier ist auf individueller Basis eine qualitative Unterscheidung hinsichtlich der Frage, ob der Krebs strahlenbedingt ist oder nicht, nicht möglich. Es kann lediglich die Wahrscheinlichkeit ermittelt werden, mit der eine individuelle Krebserkrankung durch die vorausgegangene Bestrahlung verursacht ist.

Erschwert werden diese Untersuchungen dadurch, dass die Erkrankungen mit einer erheblichen Latenzzeit (5-10 Jahre bei Leukämie und mehrere Jahrzehnte bei Krebs) auftreten können und damit analytisch, z. B. hinsichtlich der Anamnese, schwerer zugänglich werden. Da Leukämien mit einer relativ kurzen Latenzzeit nach einer Bestrahlung und mit einem besonders hohen relativen Risiko beobachtet werden, liegen für diese Erkrankungen verhältnismäßig umfangreiche Daten vor.

Es wird beobachtet, dass vor allem myeloische Leukämien (akute und chronische Erscheinungsformen), aber auch akute lymphatische Leukämien, nach Bestrahlung vermehrt auftreten. Dagegen sind chronisch-lymphatische Leukämien nicht erhöht beobachtet worden. Die Untersuchungen an den Überlebenden in Hiroshima und Nagasaki, aber auch bei Patientengruppen, wie z. B. nach Bestrahlung wegen Morbus Bechterew, ergeben für die Gesamtpopulation, dass nach Strahlendosen im Bereich von 0,2 bis 0,5 Sv und höher mit einer signifikanten Erhöhung der Leukämierate zu rechnen ist. Strahlendosen, die unter diesem Bereich liegen, haben bei epidemiologischen Untersuchungen von Gruppen der Gesamtbevölkerung nicht zu einer beobachtbar statistisch signifikant erhöhten Leukämierate geführt.

Nach unserem heutigen Verständnis bedeutet dieses nicht, dass geringere Strahlendosen als 0,2 Sv keine Leukämien hervorrufen können. Die Zahl der Fälle wird jedoch dann so klein, dass andere Faktoren wie Lebensgewohnheiten, genetische Prädispositionen usw., die das Krebs- und Leukämierisiko beeinflussen, mit ihrer Variabilität das strahlenbedingte Risiko überlagern, so dass letzteres sich aus den Schwankungen der „spontanen“ Leukämie- und Krebsrate nicht mehr heraushebt. Bei den Überlebenden in Hiroshima und Nagasaki ist das Leukämierisiko nach einer Strahlendosis von 4 Gy etwa um den Faktor 15 erhöht. Dagegen ist das Risiko für alle Krebsformen außer Leukämien bei der gleichen Strahlendosis etwa um den Faktor 2 angestiegen. Dieser Zuwachsfaktor wird als „relatives Risiko“ bezeichnet; die „spontanen“ Raten an Leukämie und Krebs (Raten ohne Bestrahlung) entsprechen einem relativen Risiko von 1,0.

Neben dem Knochenmark (Induktion von Leukämie) und dem Brustgewebe zählen auch Lunge und die Epithelien der Bronchien zu den strahlenempfindlichen Geweben hinsichtlich der Induktion von Tumoren. Eine erhöhte Rate an Lungentumoren ist bei Bergarbeitern beobachtet worden, die in Bergwerken mit hohem Radongehalt tätig gewesen sind. Durch den radioaktiven Zerfall dieses mit der Atemluft eingeatmeten Edelgases und vor allem seiner ebenfalls eingeatmeten, an Schwebstoffen angelagerten radioaktiven Zerfallsprodukte kommt es zu einer lokalen Strahlenexposition der Bronchial- und Lungenepithelien. Hierbei wird die Exposition in überwiegendem Maße durch Alphastrahlung hervorgerufen.

Die bisher für die Einschätzung der Strahlenwirkung des Radons und seiner Zerfallsprodukte benutzten Dosiskoeffizienten beruhen sowohl auf epidemiologischen Studien bei Bergarbeitern als auch auf dosimetrischen Modellen. Die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) hat in der 1993 erschienenen Publikation Nr. 65 über den Schutz vor Radon-222 in Wohnungen und am Arbeitsplatz vorgeschlagen, für die Risikoabschätzung nur noch die Ergebnisse der epidemiologischen Bergarbeiterstudien zu verwenden. Anstelle der bisherigen Dosiskoeffizienten wird deshalb von der ICRP eine neue Dosiskonvention vorgeschlagen, bei deren Anwendung sich die Strahlenexposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte für die Bevölkerung auf etwa 60 Prozent der angegebenen Werte reduziert.

Den Hauptanteil der Strahlenexposition durch Radon liefern die kurzlebigen Zerfallsprodukte des Radon-222 (Halbwertszeit 3,8 Tage). Das Radon-222 ist ein Zerfallprodukt des Radiums-226 und gelangt vor allem durch Diffusion aus dem Erdboden in die bodennahe Luft. Das eingeatmete Radon und seine Zerfallsprodukte werden im Atemtrakt und in der Lunge unterschiedlich stark abgeschieden bzw. wieder ausgeatmet. Infolge der kurzen Halbwertszeit bewirken die inhomogen abgeschiedenen Radonzerfallsprodukte unter Abgabe der biologisch besonders wirksamen Alphastrahlung im Wesentlichen eine Exposition des Atemtraktes. Die mittlere Äquivalentdosis

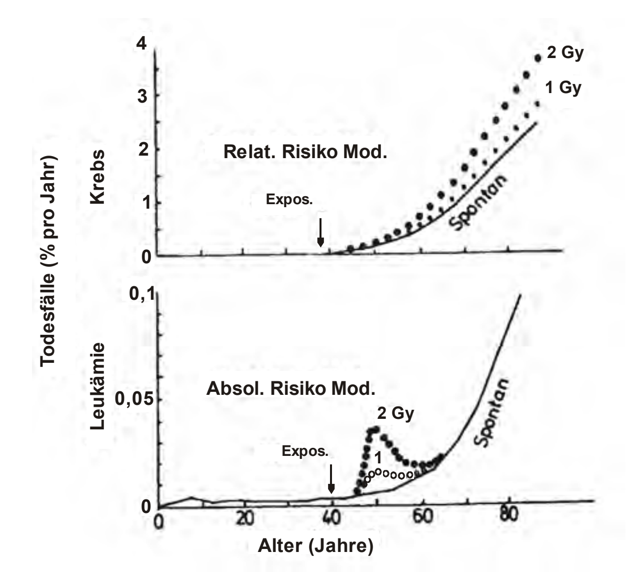
der strahlenempfindlichen Zellen der oberen Bronchien ist etwa fünf bis zehnmal höher als diejenige im Alveolarbereich. Die durch das Edelgas Radon selbst verursachte Strahlenexposition ist um mehr als eine Größenordnung niedriger als die durch seine Zerfallsprodukte und wird teils durch das im ganzen Körper gelöst verteilte Radon, teils durch das in der Atemluft befindliche Radon verursacht.

Auch bei der Induktion von Knochentumoren liegen Erfahrungen nach Exposition durch Alphastrahlen vor. In diesem Falle sind Untersuchungen nach Behandlung mit Radiumpräparaten durchgeführt worden. Das Radium wurde injiziert und hat sich vor allem im Knochengewebe abgelagert.

6. Risikoabschätzung

Für Leukämien und Knochentumoren dagegen wird das absolute Risikomodell zur Risikoabschätzung eingesetzt. Bei diesem Risikomodell geht man davon aus, dass nach einer Latenzzeit die Rate an Erkrankungen über der „spontanen" Rate liegt, nach einer weiteren Periode aber keine zusätzlichen strahlenbedingten Erkrankungen auftreten (Abb. C-2). Offensichtlich haben sich dann alle strahlenbedingten Erkrankungen manifestiert.

Abbildung C-2



Für die Risikoabschätzung außer bei Leukämie und Knochentumoren wird von einem sogenannten relativen Risikomodell ausgegangen. Beim relativen Risikomodell liegt die Rate an malignen Erkrankungen in der bestrahlten Personengruppe ebenfalls nach einer Latenzzeit über der „spontanen" Rate, aber diese Erhöhung bleibt bis zum Lebensende erhalten. Das „relative Risiko", d. h. die relative Zunahme der strahlenbedingten Rate im Vergleich zur „spontanen" Rate, wird dabei als über die Lebenszeit konstant angenommen (Abb. C-2). Das bedeutet, dass auch die strahlenbedingten Tumoren vorwiegend erst in einem Alter beobachtet werden, in dem die „spontanen" Tumoren ohne Bestrahlung manifest werden. Die Abschätzung des strahlenbedingten Krebsrisikos auf der Basis des relativen Risikomodells stellt eine auf die Gesamtlebenszeit bezogene Risikoabschätzung dar.

Die durchgezogenen Kurven geben die „spontane" Mortalität durch diese Erkrankungen an. Die gepunkteten Kurven geben die Mortalität nach Strahlenexposition nach dem „Relativen Risikomodell" und dem „Absoluten Risikomodell" an.

Die vielfältigen epidemiologischen Untersuchungen haben ergeben, dass eine statistisch signifikant beobachtbare und damit zahlenmäßig bestimmbare Erhöhung maligner Erkrankungen im Allgemeinen erst im Dosisbereich von einigen Zehntel bis einem Sievert eintritt. In niedrigeren Dosisbereichen, die für die berufliche Strahlenexposition (einige mSv/a bis einige 10 mSv/a) und vor allem für Expositionen der Bevölkerung etwa in der Umgebung kerntechnischer Anlagen (einige 10 µSv/a) von Bedeutung sind, müssen daher die Strahlenrisiken durch rechnerische Extrapolation, ausgehend von diesen höheren Strahlendosen, ermittelt werden. Ferner sind die statistisch signifikanten epidemiologischen Daten der Leukämie- und Krebserhöhung nicht nur nach Exposition mit hohen Strahlendosen, sondern häufig auch nach Bestrahlung mit hoher Dosisleistung erhalten worden. Da die Exposition am Arbeitsplatz und in noch stärkerem Maße in der Umwelt bei niedriger Dosisleistung stattfindet, ergeben sich hier zusätzliche Schwierigkeiten bei der Extrapolation zur Ermittlung der Risikokoeffizienten.

Für die Extrapolation wird angenommen, dass eine Schwellendosis nicht existiert und dass die Dosiswirkungsbeziehung für die Eintrittswahrscheinlichkeit stochastischer Effekte auch in diesem niedrigen Dosisbereich linear mit der Strahlendosis verläuft. Auf Grund unserer wissenschaftlichen Kenntnisse ist eine solche Annahme für den Strahlenschutz sinnvoll, der Beweis dafür steht aber noch aus. Um der niedrigen Dosisleistung im niedrigen Dosisbereich Rechnung zu tragen, werden für den Risikokoeffizienten häufig Reduktionsfaktoren von 2 eingesetzt, was allerdings kontrovers beurteilt wird. Für die Induktion von Leukämie und Krebs hat sich in einer Reihe von Fällen ergeben, dass sowohl eine lineare als auch eine linear-quadratische Dosiswirkungsbeziehung angenommen werden kann. Für die Zwecke des Strahlenschutzes wird jedoch häufig der Einfachheit halber, und um Unterschätzungen auszuschließen, eine lineare Dosiswirkungskurve für den Bereich bis zu den Grenzwerten der beruflichen Exposition zugrunde gelegt.

Unter dieser Annahme ist eine Risikoabschätzung durch Extrapolation, ausgehend von den Daten bei hohen Strahlendosen, zu geringen Strahlendosen hin möglich. Es ergeben sich dann Risikokoeffizienten, die im Bereich von 200 bis 1 000 Todesfällen durch Leukämie und Krebs nach Ganzkörperexposition einer Million Menschen mit 10 mSv (1 rem) liegen (Risikokoeffizient: $2 \cdot 10^{-2}$ Sv^{-1} bis $1 \cdot 10^{-1}$ pro Sv). Bei Berücksichtigung dieses Bereiches des Risikokoeffizienten ergibt eine Strahlendosis von 10 mSv eine Erhöhung der Leukämie- und Krebstodesrate, die im Bereich eines bis einiger Promille der „spontanen" Leukämie- und Krebstodesrate unserer Bevölkerung liegt. Die Exposition der Bevölkerung in der

Umgebung kerntechnischer Anlagen der Bundesrepublik Deutschland liegt beim bestimmungsgemäßen Betrieb sowie bei Auslegungsstörfällen im Bereich einiger 10 µSv. Es müssen also Extrapolationen über mehrere Größenordnungen der Dosis (etwa um den Faktor 10^4) vorgenommen werden, um von dem Dosisbereich mit epidemiologisch ermittelten Daten in den Dosisbereich dieser Exposition zu kommen.

Die Breite des Schätzintervalls für den Risikokoeffizienten spiegelt die in den Abschätzungen liegende Ungenauigkeit nur bedingt wider. Sie ergibt sich u.a. daraus, dass die neueren Untersuchungen an den Überlebenden der Atombombenabwürfe in Japan zu höheren Risikofaktoren führen. Die höheren Risikofaktoren bei der japanischen Population ergeben sich aus drei Gründen:

1. Neue Rechnungen zur Dosimetrie nach den Atombombenexplosionen haben zu neuen Dosisabschätzungen geführt.
2. In den letzten Jahren sind neue Daten zu den Leukämie- und Krebsraten erhoben worden. Es sind vor allem neue Erkrankungen bzw. Todesfälle bei den im jungen Alter exponierten Personen beobachtet worden.
3. Im Konzept des relativen Risikos geführt wird das Strahlenrisiko für die noch lebenden exponierten Personen in die Zukunft projiziert. Die noch zu erwartenden Krebstodesfälle werden mit Hilfe der Altersabhängigkeit des Krebsrisikos nicht exponierter Personen unter Annahme eines zeitlich konstanten strahlenbedingten relativen Risikos ermittelt.

Während der erste Umstand den Risikokoeffizienten nicht erheblich beeinflusst hat, tragen die Gründe 2 und 3 in erheblichem Maße zur Erhöhung bei. Der Risikokoeffizient liegt dann etwa um den Faktor 3 bis 5 höher als früher angenommen.

7. Effektive Dosis[1]

Für die Erfassung des Gesamtstrahlenrisikos bei kleinen Dosen ist die sogenannte effektive Dosis eingeführt worden. Sie enthält Strahlungs-Wichtungsfaktoren zur Berücksichtigung des gesamten stochastischen Strahlenrisikos und bezieht infolgedessen sowohl die vererbbaren Defekte als auch die Induktion von Leukämie und Krebs ein. Auf Grund der unterschiedlichen Strahlenempfindlichkeiten in einzelnen Geweben und Organsystemen für die Induktion maligner Erkrankungen sind von der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) Strahlungs-Wichtungsfaktoren (Wichtungsfaktoren) für die verschiedenen Gewebe und Organe festgelegt worden. Die Summe aller Wichtungsfaktoren beträgt 1,0. Zur Ermittlung der effektiven Dosis werden die Äquivalentdosen in den einzelnen Organen und Geweben mit den Wichtungsfaktoren multipliziert und die so erhaltenen Produkte addiert. Ein erheblicher Vorteil der effektiven Dosis liegt darin, dass das Strahlenrisiko auch bei einer inhomogenen Bestrahlung, z. B. einer selektiven Strahlenexposition einzelner Organe nach Inkorporation radioaktiver Stoffe, bewertet werden kann.

Kritisch eingewendet wird, dass die Wichtungsfaktoren auf das Mortalitätsrisiko und nicht auf das Morbiditätsrisiko durch Leukämie und Krebs abstellen. Für einzelne Organe, z. B. die Schilddrüse, bei denen die Therapie der betreffenden Tumoren gute Erfolge erzielt, würden die Wichtungsfaktoren für die Morbidität größer als für die Mortalität sein. Für Organe und Gewebe mit ungünstiger Therapieprognose der Tumoren wäre diese Situation umgekehrt. Allerdings würde auch bei Berücksichtigung des Morbiditätsrisikos definitionsgemäß die Summe aller Wichtungsfaktoren 1,0 betragen. Der Risikokoeffizient insgesamt (Morbiditätsrate pro Dosis) würde jedoch höher als bei der Berücksichtigung der Mortalitätsraten liegen.

Es wird ferner eingewendet, dass die Wichtungsfaktoren für einzelne Gewebe und Organe auf Grund neuerer epidemiologischer Daten verändert werden müssen. Da die Summe der Wichtungsfaktoren gleich 1,0 ist, ergibt sich bei einer homogenen Ganzkörperbestrahlung, dass die Ganzkörperdosis mit der effektiven Dosis identisch ist. Bei einer inhomogenen Bestrahlung, bei der einige Organe bzw. Gewebe besonders hoch belastet werden, schlagen dagegen diese hohen lokalen Bestrahlungen auf die effektive Dosis besonders durch. Dieses trifft u.a. auch für die natürliche Strahlenexposition zu, da in diesem Falle die Lunge und die Epithelien der Bronchien eine besonders hohe Strahlenexposition durch das Radon und seine radioaktiven Folgeprodukte erhalten. Die effektive Dosis wird heute anstelle der Ganzkörperdosis zur Angabe der Dosisgrenzwerte in Gesetzen, Verordnungen und Empfehlungen verwendet.

1. Gemäß ICRP-60 tritt anstelle des Begriffs „effektive Äquivalentdosis“ der Begriff „effektive Dosis“

Anhang D:

Nichtionisierende Strahlung - Definition, biophysikalische Aspekte und Wirkungsmechanismen

1. Statische Felder

Der Begriff „Statische Felder" umfasst elektrostatische Felder, die z.B. in Gleichspannungsanlagen auftreten, und statische Magnetfelder, wie z.B. das natürliche Erdmagnetfeld.

Ein statisches elektrisches Feld kann elektrische Ladungen ausrichten und damit direkt auf die Körperoberfläche einwirken. Dadurch bewirkte Bewegungen von Körperhaaren oder Mikroentladungen treten bei elektrischen Feldstärken ab 20 kV/m auf. Unangenehme Empfindungen werden ab 25 kV/m erzeugt. Statische elektrische Felder können zu elektrischen Aufladungen von nicht geerdeten Gegenständen führen. Als indirekte Wirkung kommt es beim Berühren des Körpers mit einem solchen Gegenstand zu Ausgleichströmen. In Feldern oberhalb von 5 bis 7 kV/m können solche Phänomene Schreckreaktionen durch Funkenentladungen auslösen. Im privaten wie beruflichen Alltag sind vor allem elektrostatische Aufladungen für Funkenentladungen verantwortlich, und nicht elektrische Gleichfelder von Gleichspannungsanlagen. Dies erklärt, weshalb derzeit keine Grenzwertregelungen für elektrische Gleichfelder vorliegen.

Die möglichen Wirkungsmechanismen statischer Magnetfelder sind einerseits auf Kraftwirkungen auf Teilchen und Gegenstände, z.B. metallische Implantate, die ein eigenes Magnetfeld besitzen oder magnetisierbar sind, und andererseits auf die Erzeugung elektrischer Spannungen in bewegten Körperteilchen (z.B. Blutströmung) beschränkt. An der Aorta führt dieser Mechanismus z.B. zu einer Potenzialdifferenz von bis zu 16 mV bei einem statischen Magnetfeld von 1 T. Es ist auch abgeschätzt worden, dass die magnetohydrodynamische Interaktion in einem 5-T-Feld die Flussrate in der Aorta um bis zu 7% verringern kann. Akute Schadwirkungen einer Exposition durch statische Magnetfelder bis 2 T auf die menschliche Gesundheit lassen sich experimentell nicht nachweisen. Analysen bekannter Wechselwirkungsmechanismen lassen den Schluss zu, dass eine langfristige Exposition durch Magnetflussdichten von bis zu 200 mT keine schädlichen Folgen für die Gesundheit haben.

In Hinblick auf die Umwelt spielt die Wahrnehmung statischer Magnetfelder durch Tiere eine große Rolle. Dieser Mechanismus tritt bei Feldstärken in der Größenordnung des geomagnetischen Feldes (im Mittel 40 µT) auf. Für den Menschen konnte ein derartiger Mechanismus bisher nicht nachgewiesen werden.

In der bildgebenden medizinischen Diagnostik wird das magnetische Resonanzverfahren (Magnetresonanztomographie - MRT, englisch „nuclear magnetic resonance" – NMR) angewendet. Neben medizinisch-diagnostischen Aspekten liegt der Vorteil der MRT in der Vermeidung ionisierender Strahlung. Hierbei ist der Patient statischen und zeitlich veränderlichen Magnetfeldern sowie hochfrequenten elektromagnetischen Feldern ausgesetzt. Die empfohlenen Richtwerte zur Begrenzung der Exposition liegen bei magnetischen Flussdichten von 2 T für den Kopf und/oder Rumpf und von 5 T für Extremitäten. Eine Analyse der Daten zu biologischen Wirkungen dieser Felder erlaubt es nicht, Schwellenwerte für gesundheitsschädliche Effekte exakt anzugeben. Deswegen sind Sicherheitsfaktoren bei der Festlegung von Richt- und Grenzwerten, wie die SSK sie 1998 empfohlen hat, erforderlich.

2. Niederfrequente Felder

Der Bereich der niederfrequenten Felder umfasst elektrische und magnetische Wechselfelder mit Frequenzen von 1 Hz bis 100 kHz. Die elektrische Feldstärke an der Körperoberfläche bewirkt eine mit der Frequenz wechselnde Aufladung der relativ hochohmigen Körperbehaarung. Dadurch wird eine Vibration des Haarschaftes angeregt, die über die Berührungsrezeptoren in der Haut registriert wird. Im Wesentlichen führen niederfrequente elektrische Felder zu elektrischen Strömen an der Körperoberfläche, was bei hohen Feldstärken zu einer direkten Stimulation von peripheren Rezeptoren in der Haut führen kann. Zudem treten starke Feldüberhöhungen an der Körperoberfläche vor allem im Kopfbereich auf. Durch elektrische Ausgleichsvorgänge zwischen Kleidung und Haut kann ein wahrnehmbares Kribbeln auftreten. Wirken magnetische Felder auf den Menschen ein, kommt es im Organismus zur Induktion von Wirbelströmen, die bei Überschreitung bestimmter Schwellenwerte Nerven- und Muskelzellen erregen können.

Im Alltag ergibt sich die Exposition der Bevölkerung im niederfrequenten Bereich hauptsächlich aus den elektrischen und magnetischen Feldern, die durch die Stromversorgung (50 Hz) und elektrifizierten Verkehrssysteme wie Eisenbahnen (16 $^2/_3$ Hz) entstehen.

Tabelle D-1

Grenzwerte für feststehende Niederfrequenzanlagen (26. BImSchV)

Frequenzbereich	elektrische Feldstärke (kV/m)	magnetische Flussdichte (µT)
16 2/3 Hz	10	300
50 Hz	5	100

In der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetisches Felder - 26. BImSchV; gültig seit 1. Januar 1997), sind die Grenzwerte für feststehende Niederfrequenzanlagen geregelt (s. Tabelle D-1). Danach ist bei 50 Hz-Feldern der Wert der magnetischen Flussdichte auf 100 µT begrenzt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass nach dem etablierten Strom-Dichte-Modell der WHO von 1987 durch den physikalischen Mechanismus der Induktion bei 100 µT im menschlichen Körper eine Stromdichte von etwa 2 mA/m^2 entsteht. Bei 2 mA/m^2, ein Wert, der der endogenen (natürlichen, körpereigenen) Stromdichte entspricht, gibt es keinen wissenschaftlichen Nachweis für biologische Wirkungen. Gesundheitsrelevante Wirkun-

gen niederfrequenter Felder sind erst bei einer Stromdichte von über 100 mA/m^2 bekannt.

In der Öffentlichkeit wird kontrovers diskutiert, ob niederfrequente Felder bei chronischer Exposition zu Erkrankungen wie Krebs führen. Vor allem der Zusammenhang zwischen der Exposition durch niederfrequente Magnetfelder und einem erhöhten Leukämierisiko für Kinder steht hier im Vordergrund. Eine Voraussetzung für die Entstehung von Krebs ist die Schädigung des Erbguts, der DNS. Substanzen, die solche Schäden hervorrufen, bezeichnet man als genotoxisch. Nach dem derzeitigen Stand der Wissenschaft wirken niederfrequente Felder nicht genotoxisch. In zahlreichen Zell- und Tierstudien wurde untersucht, ob niederfrequente Magnetfelder einen indirekten Einfluss auf den Verlauf von Krebserkrankungen haben, indem sie Schädigungen der DNS begünstigen oder die Entwicklung der Krankheit beschleunigen. Die Bewertung der Studien ergibt, dass bislang kein solcher Einfluss nachgewiesen werden kann.

3. Hochfrequente Felder

Hochfrequente elektromagnetische Felder (>100 kHz – 300 GHz) kommen in unserem Alltag hauptsächlich bei Anwendungen vor, die zur drahtlosen Informationsübertragung bei Radio, Funk oder Fernsehen verwendet werden. In der 26. BImSchV sind Grenzwerte (s. Tabelle D-2) für gewerblich genutzte Sendefunkanlagen mit einer äquivalent isotropen Sendeleistung von 10 Watt und mehr im Frequenzbereich von 10 Megahertz bis 300.000 Megahertz festgelegt worden.

Tabelle D-2

Grenzwerte der 26. BImSchV für feststehende Hochfrequenzanlagen

Frequenzbereich	elektrische Feldstärke (V/m)	magnetische Feldstärke (A/m)
10 –400 MHz	27,5	0,073
400 MHz –2 GHz	1,375 √f *	0,0037 √f
2 –300 GHz	61	0,16

* f = Frequenz in MHz

Diese Felder dringen, abhängig von der Frequenz, unterschiedlich tief in das Gewebe ein und verursachen eine Erwärmung (thermischer Effekt). Dies wird in der Medizin z.B. bei der Kurzwellenerwärmung zu Therapiezwecken ausgenutzt. Bei der bereits erwähnten medizinischen Diagnosemethode MRT werden hochfrequente Felder zur Anregung des Kern-Spin-Systems benötigt. Derzeit werden in der klinischen Praxis Hochfrequenzfelder mit 10 MHz bis 85 MHz eingesetzt. Die Abstrahlung dieser Felder erfolgt gepulst. Die vom Körper des Patienten absorbierte Energie kann nur im Mittel abgeschätzt werden, da auf Grund der komplexen Verhältnisse zwischen Körper und Gerät keine genauen Vorhersagen der Energieabsorption durch Berechnungen, Simulationen oder anhand von Phantomen möglich sind. Parameter für Maßnahmen zum Schutz vor hochfrequenten elektromagnetischen Feldern ist die Gewebeerwärmung. Erst bei einer Erhöhung der Körpertemperatur um deutlich mehr als 1 °C konnten in wissenschaftlichen Untersuchungen gesundheitlich bedeutende Beeinträchtigungen beobachtet werden.

Die Absorption von Energie im Gewebe auf Grund der Hochfrequenzstrahlung wird durch die spezifische Absorptionsrate (SAR) beschrieben. Sie gibt an, welche Leistung pro Kilogramm Körpergewebe (W/kg) aufgenommen wird und bestimmt die Temperaturerhöhung. International wird eine zulässige Belastung der Bevölkerung von max. 0,08 W/kg, gemittelt über den ganzen Körper, empfohlen. Beim Telefonieren mit Handys wird vor allem der Kopf den Hochfrequenzfeldern ausgesetzt. Da bei einer solchen Teilkörperexposition hohe lokale Werte der SAR auftreten können, während die SAR für den gesamten Körper kaum erhöht ist, wurden zusätzlich Teilkörpergrenzwerte festgelegt. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass vor allem die Blutzirkulation einen raschen Temperaturausgleich bewirkt, beträgt der empfohlene Teilkörpergrenzwert für den Kopf 2 W/kg (gemittelt über 10 g Gewebe und 6 min). Damit sind nach dem aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand keine gesundheitlichen Gefahren zu erwarten.

Während der thermische Effekt unumstritten ist, werden die sog. nicht-thermischen Wirkungen von Hochfrequenzfeldern kontrovers diskutiert. Darunter versteht man Effekte, die nicht mit einer Erwärmung erklärt werden können. Verschiedene nicht-thermische Effekte wie z.B. Veränderungen in der Ionenpermeabilität der Zellmembranen wurden an einzelnen Zellen und Zellkulturen beschrieben. Bislang kann diesen Effekten jedoch weder ein Wirkungsmechanismus noch eine gesundheitliche Relevanz zugeordnet werden. Sie machen aber deutlich, dass wissenschaftlich nicht erklärte Wirkungsmechanismen dieser Felder existieren können. Das heißt, dass es Risiken geben könnte, die bisher noch nicht nachgewiesen sind. Die Notwendigkeit zur Vorsorge ist also eine Folge des sich ständig fortentwickelnden Erkenntnisstandes.

4. Optische Strahlung

Zum Bereich der optischen Strahlung gehört die biologisch hochwirksame ultraviolette (UV-)Strahlung. Die UV-Strahlung gliedert sich in den UV-A- (320 – 400 nm), UV-B- (280 – 320 nm) und UV-C- (200 – 280 nm) Anteil auf.

Die Intensität der Sonne ist selbst in unseren Breitengraden im Sommer ausreichend hoch, um die Gesundheit des Menschen zu beeinflussen. Auf Grund der geringen Eindringtiefe sind vor allem die Haut und die Augen betroffen. Akute Wirkungen der UV-Exposition umfassen vor allem Erytheme (Sonnenbrand) der Haut und Photokeratitis (lichtinduzierte Hornhautentzündung) des Auges. Zu den chronischen Wirkungen zählen der Katarakt (Linsentrübung) des Auges, frühzeitige Hautalterung und Hautkrebs. Die oben aufgeführten Wirkungen der UV-Strahlung sind stark wellenlängenabhängig (je kürzer die Wel-

lenlänge, desto höher die biologische Wirkung), jedoch für die Bräunung (Melagonese), für die Lichtentzündung (Erythembildung), für die Erzeugung von Hautkrebs (Karzinogenese) sowie für die vorzeitige Hautalterung (Elastose) sehr ähnlich. Daher kann keine Bestrahlung eine einzige gewünschte Wirkung allein erzeugen, ohne gleichzeitig auch die anderen Effekte zu verursachen.

Vor allem infolge eines geänderten Freizeit- und Sozialverhaltens ist die Hautkrebsinzidenz deutlich steigend. Das Risiko, an einem Hautkrebs zu erkranken, hängt hauptsächlich von den persönlichen Gewohnheiten bezüglich der Sonnenexposition ab. Bei Basal- und Stachelzellkarzinomen gibt es einen direkten Zusammenhang zwischen solarer UV-Exposition und Krebsentstehung. Beim malignen Melanom ist dieser noch nicht eindeutig nachgewiesen. Die Inzidenz für Basalzellkarzinome ist steigend. In Deutschland werden zur Zeit Neuerkrankungen bei ca. 60 Frauen und bei ca. 90 Männern pro 100 000 Einwohner pro Jahr registriert. Die Sterblichkeitsrate liegt bei <1%.



Druck: MuK. Medien- und Kommunikations GmbH, Berlin
Vertrieb: Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft mbH, Postfach 13 20, 53003 Bonn, Telefon: 0228 / 3 82 08 40, Telfax: 0228 / 3 82 08 44
ISSN 0722-8333